



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA
CENTRAL TERMOELÉCTRICA CON Y SIN
CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**

TÉSIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE:
INGENIERO MECÁNICO**

PRESENTAN:

**GONZÁLEZ PERALES JOSÉ ANTONIO
RODRIGUEZ NERI CARMEN RAÚL**

DIRECTOR DE TESIS:

ING. AUGUSTO SÁNCHEZ CIFUENTES

MÉXICO, D.F.

NOVIEMBRE 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

TÉSIS



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA
CENTRAL TERMOELÉCTRICA CON Y SIN
CONDICIONES SUPERCRÍTICAS DE
OPERACIÓN**



ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México (U.N.A.M.), y en especial a la Facultad de Ingeniería (F.I.), por la enseñanza brindada y por forjar profesionistas que enaltecen al país, así como brindarnos la oportunidad y la visión necesaria para alcanzar una de las metas más importantes en nuestras vidas.

Un agradecimiento a todos nuestros profesores de la F.I. que contribuyeron a nuestra formación profesional y que dirigieron nuestros pasos hacia el camino del conocimiento.

Al Ing. Augusto Sánchez Cifuentes por la asesoría y facilidades para concluir nuestros estudios y por la confianza depositada en nosotros.

A todos nuestros amigos de generación ya que sin su apoyo, consejos y amistad hicieron más fácil la carrera.



DEDICATORIAS

De: José Antonio

A mí madre Sra. María Guadalupe Perales Ramírez

La persona más importante, mi principal ejemplo de vida, la que siempre me ha ofrecido apoyo y palabras de aliento para seguir adelante, la persona que hizo posible mi formación académica.

A mí padre Sr. Antonio González Bautista

Por inculcarme valores de respeto, honestidad, trabajo y porque ha sido un ejemplo para enfrentar y superar las adversidades que he encontrado en el camino.

A mis hermanos: Srta. Martha B. González Perales
Sr. Enrique González Perales

Por los momentos que no estuve con ustedes y por su apoyo incondicional en todo momento.

A mis sobrinos: Juliana y Luís Enrique

Que éste logro les sirva como ejemplo e inspiración para que tomen un buen camino en la vida.



DEDICATORIAS

De: Carmen Raúl

A Dios:

Por permitirme vivir, por darme la familia que me dio, por nacer en México, por poner a las personas que ha puesto en mí camino, por permitirme crecer día a día, por permitirme llegar a éste momento, por permitirme ser Puma de C.U.

Dios bendiga a Dios, Dios bendiga a mí familia, Dios bendiga a México, Dios bendiga a la UNAM.

A mí mamá: Sra. María de Lourdes Neri

A la persona que me dio la vida y que es el pilar más importante en ella, a la que siempre me ha dado el apoyo en todo momento, el aliento y el coraje para salir adelante, a ella que me enseñó los valores de respeto, honestidad, disciplina y trabajo, pero sobre todo a la que me dio su amor, comprensión y cuidados brindados en mí vida, a la persona que hizo posible mi formación personal y universitaria.

Gracias por creer en mí mamá, te amo.

A mí abuelita: Sra. María de Jesús Neri Galván

Por todo el apoyo recibido en mí vida, a la persona que ha dejado grabado en mí su ejemplo de trabajar, de lucha y superación ante todo tipo de adversidad, a la que junto con mí madre me formó como persona e hicieron posible la realización de mi carrera universitaria.

Gracias abuelita por todo, te amo.

A mí tío: Sr. Margarito Benjamín Vázquez Vázquez

A la persona que es sin duda otro pilar en mí vida, por todas las enseñanzas que me ha dado en el transcurso de mí vida, por todo el apoyo incondicional que me ha brindado, por todos los momentos que hemos compartido, y en especial por todo el amor que he recibido de su parte.

Gracias tío por todo y creer en mí, te amo.



ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN



A mis tías y tíos:

A ustedes que han sido ejemplo para mí, por hacerme luchar y ser parte de mis sueños, por los consejos dados, por luchar para superarse y con ello hacer que yo me supere ya que son una motivación para mí, por todo el amor que han tenido conmigo.

A Marisol:

Por todo el apoyo que me has dado, por acompañarme y hacer mis estudios más ligeros, por cambiar mi vida, por el amor que me brindas y sobre todo por haberme dado el regalo más hermoso, nuestro Diego Emmanuel, que es y siempre será nuestro angelito de la guarda.

A todos mis primos:

Que éste logro les sirva como ejemplo e inspiración para que luchan por sus metas y las logren alcanzar y tomen un buen camino en la vida.



PENSAMIENTO

A mí madre:

Lo único que acierto a decir es:

Gracias ...

Por la vida misma,

*por todo el apoyo que me has brindado en el transcurso de mi vida,
por toda la ayuda recibida ya que has hecho más ligero mi camino,
por las palabras de aliento escuchadas en los momentos más difíciles,
por todas las cosas que me has dado sin pedir a cambio nada,
y ahora que hago realidad uno de mis grandes sueños,
quiero agradecerte todo el amor, paciencia y comprensión para conmigo.*

Por todo y mucho más ... Gracias

CARMEN RAÚL RODRÍGUEZ NERI



INDICE

RESUMEN	4
OBJETIVO	5
INTRODUCCIÓN	5

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

I.1.- GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN MÉXICO	8
I.2.- GENERACIÓN TERMOELÉCTRICA	10
I.3.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LAS CENTRALES TERMOELÉCTRICAS TIPO VAPOR	12
I.4.- IMPORTANCIA DEL USO DE CARBÓN EN CENTRALES GENERADORAS DE ELECTRICIDAD	14
I.5.- CENTRALES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE PRESIÓN SUPERCRÍTICA POR ENCENDIDO DE CARBÓN	26

CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA C.T. PDTE. PLUTARCO ELÍAS CALLES (PETACALCO)

II.1.-DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	36
II.2.-CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS Y SISTEMAS MECÁNICOS PRINCIPALES DE LA C.T. PDTE. PLUTARCO ELÍAS CALLES	38
II.2.1.-GENERADOR DE VAPOR	38
II.2.2.-TURBINA DE VAPOR	39
II.2.3.-VÁLVULA DE PARO PRINCIPAL Y DE RECALENTAMIENTO	40
II.2.4.-SISTEMA DE CONDENSADO	40
II.2.5.-SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN	42



CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL CARBOELÉCTRICA CCE PACÍFICO

III.1.-DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	45
III.2.-CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS Y SISTEMAS MECÁNICOS PRINCIPALES DE LA C.C.E PACÍFICO	48
III.2.1.-GENERADOR DE VAPOR (CALDERA SUPERCRÍTICA)	48
III.2.2.-TURBINA DE VAPOR	54
III.2.3.-SISTEMA DE CONDENSADO	60
III.2.4.-SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN, Y SISTEMA DE DRENAJE DE CALENTADOR Y VAPOR DE EXTRACCIÓN	63
III.2.5.-PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO	67
III.2.6.-SISTEMA DE VAPOR PRINCIPAL, VAPOR RECALENTADO Y DERIVACIÓN DE TURBINA	68

CAPÍTULO IV. ESTUDIO TÉCNICO- ECONÓMICO ENTRE LA C.T. PDTE. PLUTARCO ELÍAS CALLES (PETACALCO) Y LA C.C.E. PACÍFICO

IV.1.-DESARROLLO	72
IV.2.-ESTUDIO TÉCNICO: BALANCE ENERGÉTICO Y EXERGÉTICO DE LA C.T. PDTE. PLUTARCO ELÍAS CALLES (PETACALCO) (1 X 350 MW)	74
IV.2.1.-BALANCE TÉRMICO 100 % CARGA	75
IV.2.2.- TABLA DE PROPIEDADES	77
IV.2.3.- DIAGRAMA T – S	79
IV.2.4.-MEMORIA DE CÁLCULO: BALANCE DE ENERGÍA	81
IV.2.5.-MEMORIA CÁLCULO: BALANCE DE EXERGÍA	84
IV.2.6.-RESULTADOS	90



IV.3.-ESTUDIO TÉCNICO: BALANCE ENERGÉTICO Y EXERGÉTICO DE LA C.C.E PACÍFICO (1 X 651 MW)	93
IV.3.1.-BALANCE TÉRMICO 100 % CARGA	94
IV.3.2.- TABLA DE PROPIEDADES	96
IV.3.3.- DIAGRAMA T – S	98
IV.3.4.-MEMORIA DE CÁLCULO: BALANCE DE ENERGÍA	100
IV.3.5.-MEMORIA CÁLCULO: BALANCE DE EXERGÍA	104
IV.3.6.-RESULTADOS	110
IV.4.-ESTUDIO ECONÓMICO	114
IV.4.1.-COSTOS DE GENERACIÓN	115
IV.4.2.-PRECIOS DE COMBUSTIBLES	117
IV.4.3.-ESTUDIO ECONÓMICO DE LA C.T. PDTE. PLUTARCO ELÍAS CALLES (PETACALCO)	118
IV.4.4.-ESTUDIO ECONÓMICO DE LA C.C.E. PACÍFICO	121
CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES	
V.- CONCLUSIONES	125
ANEXOS	
ANEXO 1.- ACTIVIDADES REALIZADAS EN CFE POR GONZALEZ PERALES JOSÉ ANTONIO	128
ANEXO 2.- ACTIVIDADES REALIZADAS EN CFE POR RODRÍGUEZ NERI CARMEN RAÚL	140
BIBLIOGRAFÍA	169



RESUMEN

En este trabajo comparamos dos tipos de Centrales Termoeléctricas, una con condiciones Subcríticas de Operación, C.T. Pdte. Plutarco Elías Calles, y otra con condiciones Supercríticas de Operación, CCE Pacífico, determinando la eficiencia de cada Central y se evaluó cuál de ellas es más factible económicamente, y se establecieron las diferencias en los equipos principales y su operación.

Para evaluar cada una de las Centrales se realizaron dos estudios: uno técnico y el otro económico.

El estudio técnico se realizó a partir de los Balances Térmicos de cada Central realizando primeramente un Balance de Energía, posteriormente se hizo un Balance de Exergía para cada equipo y se obtuvieron las eficiencias térmicas como exergéticas. También se representó en un Diagrama T-S el ciclo termodinámico de cada Central.

El estudio económico se elaboró partiendo de la información recopilada en el COPAR 2006 de Generación de CFE, que es una base de información para la evaluación económica de Proyectos y Tecnologías del Sector Eléctrico. En este estudio se aplicó a cada Central los principales Métodos de Evaluación Económica y con los resultados obtenidos se determinó cual de las Centrales es más factible



OBJETIVO

Verificar la factibilidad técnica – económica del uso de una Central Carboeléctrica con Operación Subcrítica comparada con una Central Carboeléctrica con Operación Supercrítica.

INTRODUCCIÓN

Desde que el hombre descubrió la electricidad y posteriormente su utilidad e importancia, éste se ha esforzado en aprovecharla para mejorar su calidad de vida y alcanzar una serie de desarrollos tecnológicos sin los cuales la sociedad moderna sería impensable. En México con el crecimiento poblacional, comercial, e industrial y con una educación insensible al ahorro de energía, la demanda de energía eléctrica aumenta rápidamente, la cual podría rebasar la oferta en los próximos años.

Frente a esa situación, el gobierno, el cual tiene la responsabilidad de satisfacer la demanda de energía eléctrica por medio de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), ha incrementado la generación de energía eléctrica a fin de generarla, distribuirla y comercializarla. Se contemplan para este año (2007) 21 proyectos de Centrales generadoras que representan 7,844 MUSD de inversión, los cuales están integrados por 8 proyectos en construcción, 4 en licitación y 9 por licitar, los cuales contemplan satisfacer la demanda de energía eléctrica en los próximos años.

Pero no todo termina ahí, dentro de esta problemática de crecimiento de demanda energética se presentan otros problemas que es el incremento en los precios de los combustibles (hidrocarburos) en el mundo y en especial el precio del gas natural que es considerado como un energético primario para la generación de energía eléctrica.

En esta última década, dentro de los combustibles fósiles, el consumo del gas natural en el ámbito mundial registró la mayor tasa anual de crecimiento con 1.8 % anual, superior a la promedio primaria total (1.5%). Este comportamiento se atribuye a gran medida a que el gas natural se ha convertido en la alternativa predilecta para generar electricidad por su eficiencia en los ciclos combinados y su combustión limpia, además de su rápido crecimiento en los sectores industrial, residencial y de autotransporte.

Se estima que para el periodo 1999-2015 el gas natural pasará del tercer al segundo lugar en importancia en la estructura global de consumo de energía primaria, después del petróleo, ya que se estima que el crecimiento de la demanda de gas natural alcanzará una tasa de crecimiento promedio anual de 3.2 % comparada con 2.2 % para el petróleo y 1.8 % para el carbón. Esta expansión será más notoria en países en desarrollo como México, donde la tasa media de crecimiento anual alcanzara 5.7%, frente a 2.5% en países industrializados.¹

¹ Prospectiva del mercado del gas natural 2002- 2011, Secretaria de Energía, México 2002.



Tomando en consideración las expectativas a futuro de los precios del gas natural y que la mayor parte de las Centrales generadoras que la CFE tiene en funcionamiento actualmente son termoeléctricas (46.12%) a base de ciclo combinado y que México es considerado como un país monoenergético, CFE contempla dentro de sus nuevos programas la diversificación de la oferta energética, y la implementación de nueva tecnología para lograr satisfacer las necesidades de demanda de energía eléctrica para los próximos años.

La CFE desarrolla desde los años 90's Centrales Carboeléctricas tales como Río Escondido (1200 MW), Carbón II (1400 MW), o duales como la C.T. Pdte. Plutarco Elías Calles (2100 MW) y actualmente se contempla el Proyecto "CCE Pacífico".

Esta nueva Central Carboeléctrica tendrá una capacidad de generación garantizada de 651.16 MW (una unidad Turbogeneradora) y estará localizada en el Municipio de La Unión, en el estado de Guerrero. El monto total de la inversión es de 611.29 millones de dólares y entrará en Operación Comercial en el año 2010.

La importancia de este nuevo Proyecto es que implementará nueva tecnología como lo es una caldera que operará en condiciones Supercríticas en comparación a las otras Centrales Carboeléctricas ya construidas cuyo funcionamiento es en condiciones Subcríticas, y tendrá como combustible base carbón importado de Australia, China, Canadá y Estados Unidos.

Este tipo de Central podría ser una opción importante para solucionar los problemas en el alza de los combustibles (hidrocarburos), porque si tomamos en cuenta que este tipo de Centrales funciona con un combustible como es el carbón, que es el que tiene mejores expectativas económicas a futuro y sumado a la nueva tecnología en estas Centrales se pueden alcanzar altas eficiencias, por lo que el problema estará parcialmente resuelto.

Cabe destacar que la implementación de nueva tecnología presenta varias situaciones para su estudio entre ellas un mayor costo de equipos y nuevos sistemas, pero teniendo por lo contrario mayor eficiencia de la Central y mayor disponibilidad.

En este trabajo comparamos dos tipos de Centrales, una con condiciones Subcríticas de Operación (C.T. Pdte. Plutarco Elías Calles) y otra con condiciones Supercríticas de Operación (CCE Pacífico), en donde se analizó cual presenta una mayor eficiencia y por lo tanto un menor costo en el KWh producido.

Si los resultados son los esperados se tendrá la certeza en decir que las Centrales Carboeléctricas con condiciones Supercríticas de Operación serán una buena opción para lograr abastecer la demanda de energía eléctrica del país, manteniendo una heterogeneidad energética, y obteniendo energía eléctrica muy competitiva y estable económicamente en comparación con otros tipo de Centrales que tienen dependencia al precio de los hidrocarburos, como son ahora las Centrales de Ciclo Combinado.



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**



**CAPÍTULO I
GENERALIDADES**



I.1.- GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN MÉXICO ¹

La generación de energía eléctrica en la Comisión Federal de Electricidad se realiza en Centrales hidroeléctricas, termoeléctricas, eólicas y nucleares. Al cierre del mes de junio de 2007, la CFE contó con una capacidad efectiva instalada para generar energía eléctrica de 49,834.29* Megawatts (MW), de los cuales: 11,456.90 MW son de productores independientes (termoeléctricas); 11,044.98 MW son de hidroeléctricas; 22,322.56 MW corresponden a las termoeléctricas de CFE; 2,600.00 MW a carboeléctricas; 959.50 MW a geotermoeléctricas; 1,364.88 MW a la nucleoelectrica, y 85.48 MW a la eoloeléctrica. (Ver figuras 1 y 2).

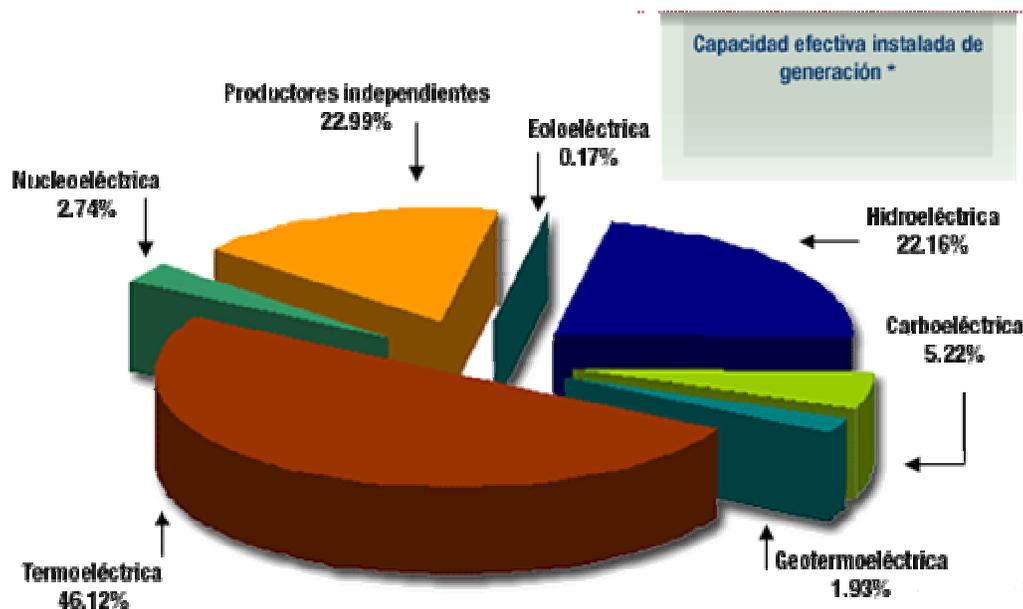


Figura 1.- Capacidad efectiva instalada de generación

* Incluye 21 Centrales de productores independientes de energía, (PIE) las cuales aparecen en el apartado de Centrales Generadoras.

¹ www.cfe.gob.mx, 04/09/2007

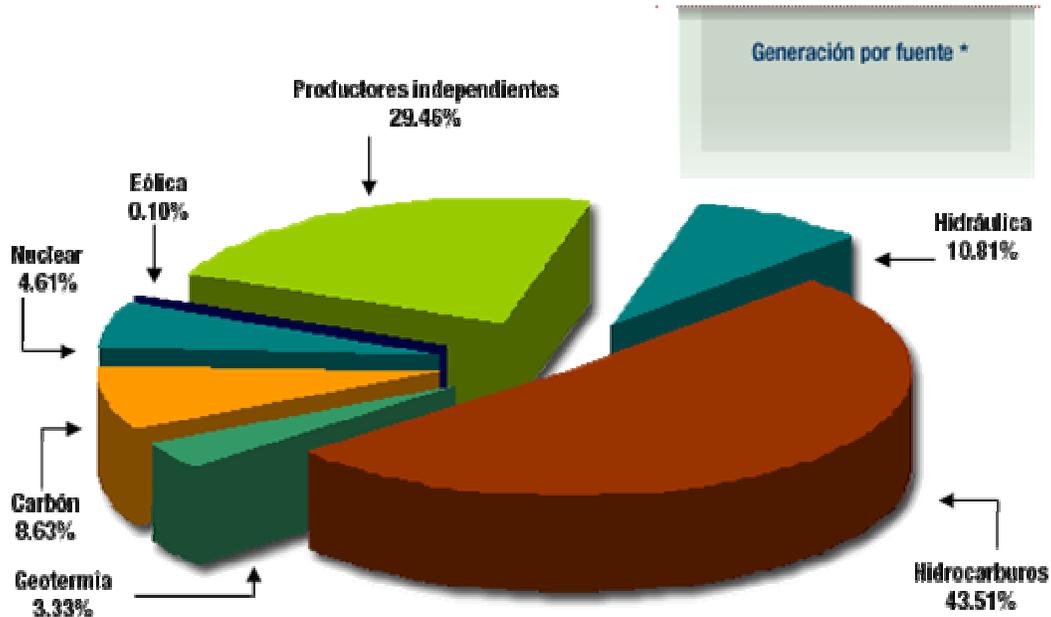


Figura 2.- Generación por fuente

Desarrollo de la capacidad instalada y de la generación

Para cumplir el objetivo de CFE de cubrir las necesidades de energía eléctrica de la población, de la industria, la agricultura, el comercio y los servicios en México, la generación de electricidad ha ido en aumento, como se aprecia en las siguientes figuras:

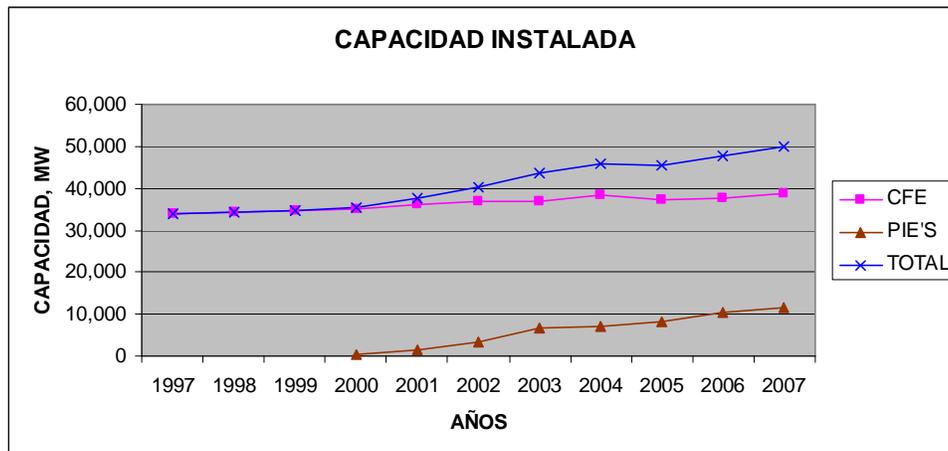


Figura 3.- Desarrollo de la capacidad instalada

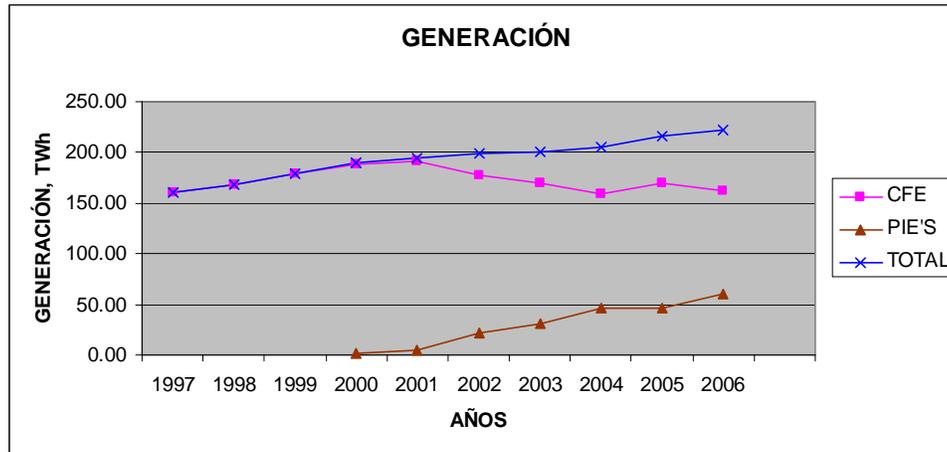


Figura 4.- Desarrollo de la generación de electricidad

I.2.- GENERACIÓN TERMOELÉCTRICA ²

En el proceso termoeléctrico existe una clasificación de tipos de generación, según la tecnología utilizada para hacer girar los generadores eléctricos, denominándoseles como sigue:

- Vapor
Con vapor de agua se produce el movimiento de una turbina acoplada al generador eléctrico.
- Turbogas
Con los gases de combustión se produce el movimiento de una turbina acoplada al generador eléctrico.
- Combustión Interna
Con un motor de combustión interna se produce el movimiento del generador eléctrico.
- Ciclo Combinado
Combinación de las tecnologías de turbogás y vapor. Constan de una o más turbogás y una de vapor, cada turbina acoplada a su respectivo generador eléctrico.

Otra clasificación de las Centrales termoeléctricas corresponde al combustible primario para la producción de vapor, según:

- Vapor (combustóleo, gas natural y diesel)
- Carboeléctrica (carbón)
- Dual (combustóleo y carbón)
- Geotermoeléctrica (vapor extraído del subsuelo)

² www.cfe.gob.mx, 04/09/2007



ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN



- Nucleoeléctrica (uranio enriquecido)
- Turbogas

Tipo	Capacidad en MW	Generación GWh
Vapor	12,693.30	26,601
Dual	2,100.00	7,148
Carboeléctrica	2,600.00	9,258
Ciclo Combinado (CFE)	5,203.34	13,942
Ciclo Combinado (*productores independientes de energía)	11,456.90	32,929
Geotermoeléctrica	959.50	3,613
Turbogas	2,103.33	445
Combustión interna	222.59	492
Nucleoeléctrica	1,364.88	5,150
Total	38,703.84	99,578

Para el cierre de junio de 2007, la capacidad efectiva instalada y la generación de cada una de estos tipos de generación termoeléctrica, es la siguiente:

* Centrales de ciclo combinado: Mérida III, Río Bravo II (Anáhuac), Hermosillo, Saltillo, Bajío (El Sauz), Tuxpan II, Monterrey III, Altamira, Tuxpan III y IV, Campeche, Mexicali, Chihuahua III, Naco-Nogales, Altamira III y IV, Río Bravo III, La Laguna II, Río Bravo IV, Valladolid III, Tuxpan V, Altamira V y Tamazunchale.



I.3.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LAS CENTRALES TERMOELÉCTRICAS TIPO VAPOR ³

Una central termoeléctrica de tipo vapor es una instalación industrial en la que la energía química del combustible se transforma en energía calorífica para producir vapor, este se conduce a la turbina donde su energía térmica se convierte en energía mecánica, la que se transmite al generador, para producir energía eléctrica. (Ver figura 5).

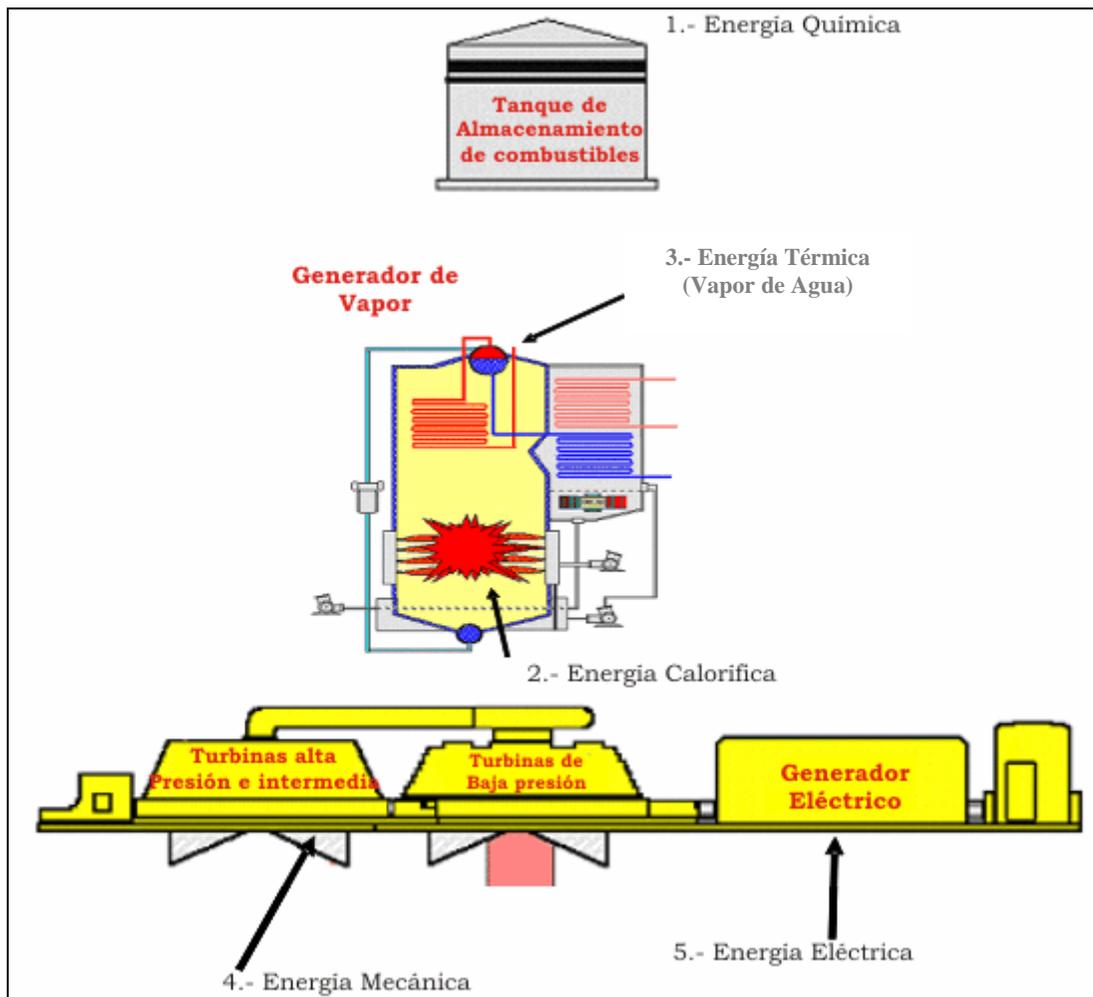


Figura 5.- Secuencia de transformaciones de energía

³ www.cfe.gob.mx, 04/09/2007



Centrales Termoeléctricas tipo vapor

Estas Centrales utilizan el poder calorífico de combustibles derivados del petróleo (combustóleo, diesel y gas natural), para calentar agua y producir vapor con temperaturas del orden de los 520°C y presiones entre 11.76 y 16.67 MPa, para impulsar las turbinas que giran a 3600 r.p.m. (Ver figura 6).

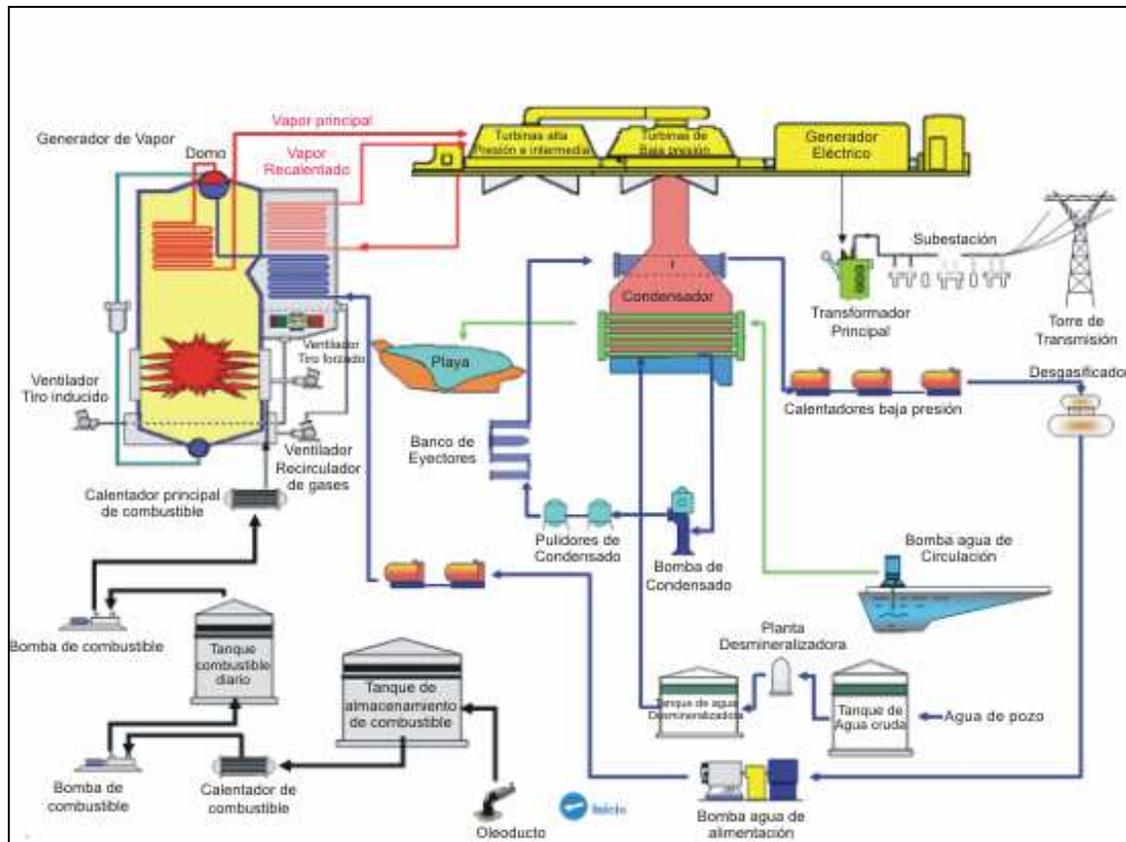


Figura 6.- Esquema de una central termoeléctrica tipo vapor



I.4.- IMPORTANCIA DEL USO DE CARBÓN EN CENTRALES GENERADORAS DE ELECTRICIDAD

1. Introducción

El carbón representa una fuente importante en todo el mundo como recurso energético y económico dada la cantidad de reservas que se tienen. Además tiene un precio relativamente bajo y estable y desde esta perspectiva sería muy conveniente como fuente primaria de energía. En contra, el carbón emite ciertas cantidades de desechos sólidos y de contaminantes (partículas, metales pesados, SO_x y NO_x), también emite casi dos veces más de CO_2 comparado con el gas natural. Sin embargo, en la actualidad se han desarrollado tecnologías eficientes de combustión que ayudan a minimizar las emisiones.

En cuanto al mercado internacional, el carbón está llamado a ser una de las principales fuentes de energía en el mundo para el siglo XXI, debido al encarecimiento del petróleo y del gas natural, además que sus recursos son finitos.

2. Características del carbón

El carbón es una roca combustible, compuesta principalmente de Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Azufre y ceniza.

Se estima que los depósitos de carbón se originaron hace aproximadamente 300 millones de años en los bosques pantanosos de la era carbonífera, requiriéndose de 3 a 7 unidades de material vegetal compactado para dar 1 unidad de carbón bituminoso.

Para formar el carbón se necesitaron transformaciones químicas y físicas en determinadas condiciones de calor y presión. La transformación de la turba, pasando por una serie de rangos de carbón desde el lignito hasta la antracita, constituyó un proceso muy lento.

El carbón posee gran heterogeneidad química, es una sustancia difícil de muestrear, hay cambios de un depósito a otro adyacente aunque sean de la misma edad geológica.

Por eso son importantes los análisis de caracterización del carbón para clasificarlos e identificarlos para su empleo final y como base para especificar y seleccionar el equipo de manejo y de combustión del mismo, además del diseño y disposición de las superficies de transferencia térmica.

Una clasificación útil es por rango, es decir, de acuerdo con el metamorfismo o alteración progresiva en la serie natural que va del lignito (más joven) a la antracita (más viejo).



En la clasificación ASTM el criterio básico viene determinado por el carbono fijo y el valor térmico, en ausencia de sustancias minerales.

Dados por rango de aumento de edad los carbones son designados como turba, lignito, sub-bituminoso, bituminoso y antracita. Conforme aumentan de rango va disminuyendo la cantidad de Materia volátil y de Oxígeno y va aumentando el Carbono Fijo. (Ver figura 7)

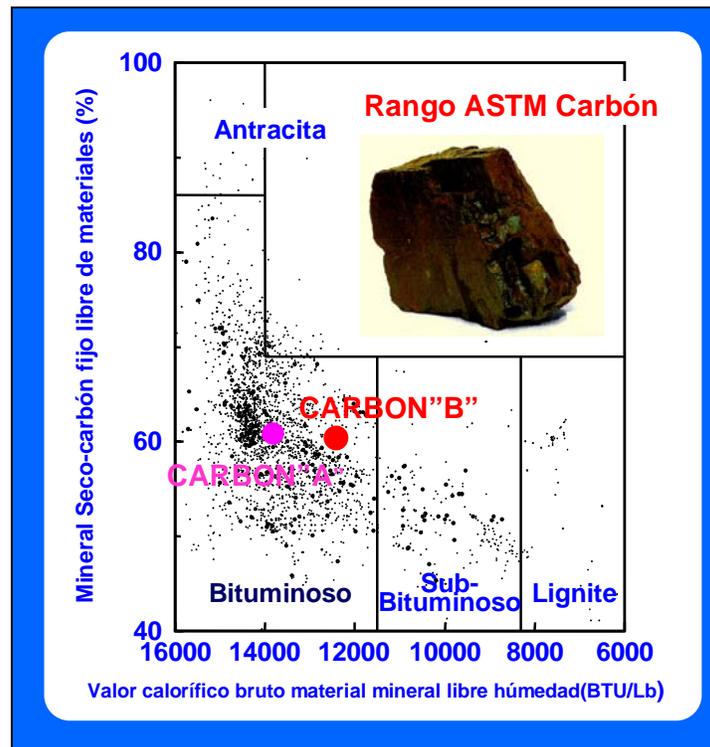


Figura 7.- Grado ASTM del Carbón

Los usos del carbón en general son aplicaciones industriales, coquización para fines químicos y metalúrgicos, como combustible en la generación de electricidad y materia prima para licuefacción y gasificación.

Por su heterogeneidad no todos los carbones son adecuados para todos los fines, por ejemplo el carbón para una caldera de parrilla no es adecuado para una caldera con alimentación centrífuga, de ahí la necesidad de pruebas del carbón.

La ASTM, la ISO y otras normas han creado pruebas aplicables al carbón.



3. Pruebas del carbón para Centrales Carboeléctricas.

La característica más interesante del carbón es su valor térmico o poder calorífico, aproximadamente estos valores van de 13,956 a 37,216 kJ/kg

Más o menos dos terceras partes del carbón se quema en Centrales, lo que explica la importancia de la determinación exacta del poder calorífico del carbón.

Para la determinación se usa una bomba calorimétrica con Oxígeno a aproximadamente 28 atm, con una muestra de aproximadamente 1 gramo (determinado en balanza analítica), con cierto tamaño de partícula (que pase por un tamiz de cierto número de mallas), con un forro de agua que incorpora un termómetro muy preciso que medirá el aumento de temperatura del agua como consecuencia de la combustión de la muestra.

Los carbones de mayor poder calorífico son los semi-bituminosos y bituminosos. En general a menor porcentaje de ceniza, mayor poder calorífico.

El poder calorífico de un carbón se puede aproximar por la fórmula de Dulong:

$$\text{kJ/kg} = [14544 C + 61500 (H - O/8) + 4500 S] / 2.326$$

Donde C, H, O y S son las fracciones peso de los elementos respectivos.

El contenido de ceniza es importante, a medida que aumenta éste disminuye el poder calorífico del carbón, además de ser necesario recogerla y eliminarla. Actualmente sirve para relleno de terrenos y se propone usar la ceniza fina para producir ladrillos y concreto ligero y como materia prima para cemento Pórtland.

Para su determinación se quema una muestra en la mufla en condiciones controladas y se pesa antes y después de la combustión, quedando al final la ceniza como óxidos metálicos.

La fusibilidad de la ceniza y el análisis de la ceniza son también parámetros importantes en el diseño de los hogares y en el ajuste del carbón a las características operativas de un hogar. El análisis se usa también para predecir las propiedades corrosivas y de obstrucción del carbón.

El contenido de azufre es importante por sus implicaciones ambientales. El azufre está presente en tres formas: como piritas (sulfuros metálicos), como azufre orgánico y como sulfatos.

Las Centrales Carboeléctricas de México compran el carbón con un porcentaje máximo de azufre de alrededor de 1.2 %.



Para su determinación se aprovecha la prueba calorimétrica pues los residuos de la combustión en la bomba se recogen conteniendo el azufre que primero oxidado a $\text{SO}_2 + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_3$, y se combina con la humedad presente dando H_2SO_4 el que se precipita como BASO_4 y se pesa después de secarlo en mufla.

La humedad es componente indeseable del carbón, aumenta el peso y costo del embarque, dificulta el manejo y muestreo de carbones con humedad excesiva, en invierno se hiela dificultando su descarga.

Para determinarla se hace por diferencia de peso al secar una muestra cercana a un gramo, a aproximadamente 105°C por una hora.

Aparte se hacen análisis designados como Análisis Inmediato que incluye % de materia volátil, % de carbono fijo y % de ceniza (Base seca) y Análisis Final que incluye %C, %H, %S, %N, %O (Base seca).

También se pueden determinar Cl, Br, I, F, As, Pb, Hg y otros metales.

El contenido de Cl importa porque se convierte en HCl durante la combustión y por ser muy reactivo corroe los metales.

El análisis inmediato es más rápido de determinar en el laboratorio y da información para entender la conducta del combustible en el hogar.

La caracterización de acuerdo a materia volátil importa porque al exponerse el carbón a alta temperatura algo se volatiliza en forma de gas que contiene la mayor parte del Hidrógeno y algo de carbono, el resto es carbón fijo y ceniza. Los Hogares diseñados para quemar madera o turba, que son altamente volátiles, son bastante diferentes de aquellos diseñados para quemar antracita que casi no tiene materia volátil.

Esta fracción volátil es un indicador de qué tan difícil de quemar es el combustible siendo la antracita la más difícil. Para la determinación se seca una muestra y luego se calienta en atmósfera inerte a 950°C por 7 minutos siendo la pérdida de peso la materia volátil. Eso nos da una medida del grado en que el combustible se piroliza en el hogar.

El carbón restante en la fase sólida es el carbono fijo que se saca por diferencia después de determinar la ceniza.

Otra característica a considerar es la tendencia de algunos carbones a hincharse y aglomerarse bajo calentamiento. Al inicio el carbón se suaviza y se hace pegajoso, al continuar el calentamiento se hace nuevamente una masa sólida compactada que da



problemas en el contacto gas-sólido y puede romper por completo la distribución del gas en un sistema reactor.⁴

Finalmente podemos mencionar que los carbones para coquizar deben ser bajos en ceniza, bajos en azufre, bajos en fósforo y altos en carbono fijo. El coque se usa para la producción del acero en los Altos Hornos dando el calor necesario para la fusión del mineral (Fe_2O_3) y reduciéndolo a hierro metálico.

4. Aplicaciones

La revolución industrial que nos llevó a la moderna sociedad industrial nació del descubrimiento de cómo convertir energía de combustible fósil en trabajo.

Las Centrales Carboeléctricas son un sistema de conversión de la energía química contenida en el carbón a energía eléctrica.

La liberación de la energía se lleva a cabo durante el proceso de combustión mediante la reacción de oxidación, esto destruye el combustible fósil, produciendo calor el cual sirve para producir vapor que en la turbina es convertido en trabajo.

La combustión es un paso importante en casi todos esquemas que utilizan energía de recursos combustibles fósiles, es un proceso complejo.

La mayoría de las Centrales de fuerza, las Carboeléctricas usan el ciclo *Rankine* con agua como fluido de trabajo que sufre evaporación en la caldera, expansión en la turbina donde entrega trabajo de flecha y posterior condensación y re-compresión para reiniciar el ciclo.

La eficiencia del ciclo se define como la razón del trabajo neto respecto del calor de entrada, siendo el trabajo neto la diferencia entre el trabajo de flecha entregado y el trabajo de compresión (normalmente pequeño).

Como lo marca la Segunda Ley de la Termodinámica, una vez liberada la energía térmica del combustible, una fracción grande no puede convertirse a trabajo. La máxima eficiencia de conversión es la Eficiencia de *Carnot*.

$$\text{Trabajo} = q_{\text{combustión}} (1 - T_c / T_h)$$

Donde:

T_h es la temperatura de la fuente caliente (hogar)

T_c es la temperatura del receptor o sumidero frío (condensador)

Esta conversión resulta en un considerable trabajo perdido.

⁴ Douglas M. Considine, Tecnología del carbón, Publicaciones Marcombo, 1986



Se considera que la pérdida en la habilidad para convertir la energía en trabajo no está en la ineficiencia de la turbina o en el calor descargado sino mayormente en el sistema de combustión –el hogar.

El valor de T_h depende de la cantidad de aire en exceso, entre mayor sea éste, menor será la temperatura adiabática de flama y consecuentemente menor será la eficiencia de conversión.

En el presente podríamos considerar una Presión máxima de aproximadamente 34.47 MPa y Temperaturas de alrededor de 816 ° C en el vapor, lo que nos daría conversiones de aproximadamente 51% de la energía disponible en el vapor.

El ciclo *Rankine* refinado logra conversiones de aproximadamente 45%, ya aproximándose a su máximo valor (Ver figura 8).⁵

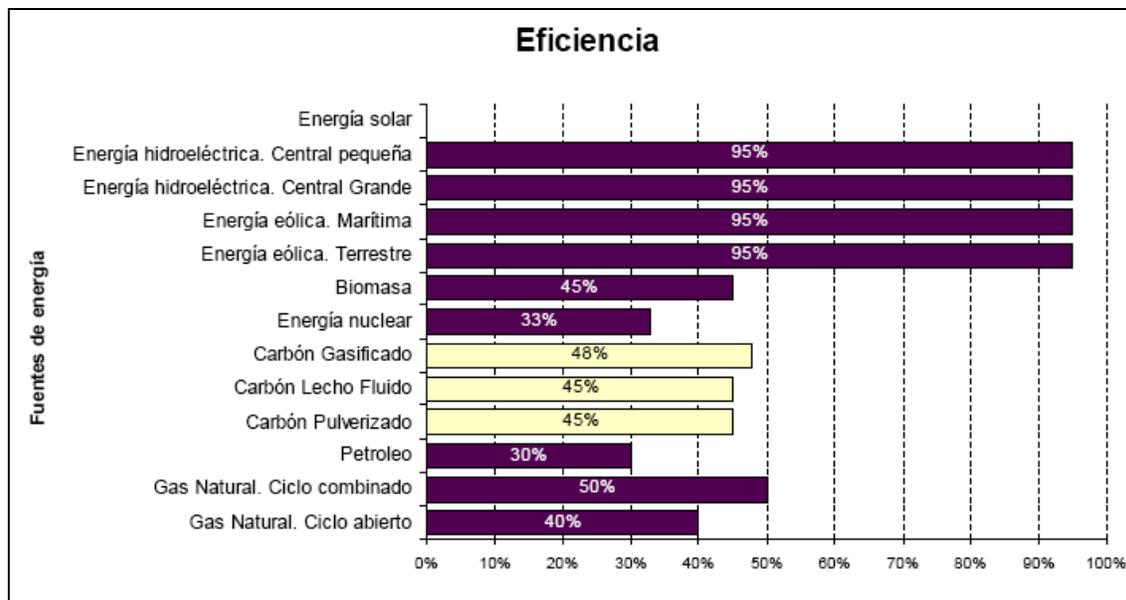


Figura 8.- Eficiencias obtenidas con diferentes combustibles en generación de electricidad

Una alternativa sería la turbina de gas pero ésta es muy sensible a partículas que rápidamente erosionan los álabes, por lo que a pesar de muchos intentos el carbón no puede usarse en éstas turbinas. El problema es el de eliminar las partículas de la corriente gaseosa caliente.

⁵ Carbounión. Balance de Energía 2006 y Perspectivas de 2007 del Carbón (España 2006)



Reactor de combustión

En el diseño de reactores se hace referencia a las tres T: TURBULENCIA, TEMPERATURA Y TIEMPO.

La turbulencia permite el mezclado de los reactivos en el hogar, la temperatura nos da una alta constante de velocidad de reacción y el tiempo da el tiempo necesario de residencia en el reactor para combustión.

Para el caso de una reacción exotérmica como la combustión se hace un compromiso entre alta conversión de equilibrio y rápida velocidad de reacción, pues al aumentar la temperatura baja la constante K de equilibrio y aumenta la conversión.

El diseño de un hogar abarca tanto Arte como Ciencia, los diseños no se basan en una teoría básica sino frecuentemente en la experiencia del diseñador resultando generalmente diseños efectivos

En una reacción sólido – gas en general, y en el caso aire – carbón en lo particular, hay dos consideraciones fundamentales:

- Para que haya reacción debe haber un contacto del gas con el sólido.
- Debe haber un medio de quitar energía al reactor.

El reactor debe ser un equipo de manejo de materiales, un contactor sólido – gas y un intercambiador de calor.

Por lo general son sistemas continuos, entre otros:⁶

Tipo lecho vertical móvil
Tipo lecho horizontal móvil
Tipo corazón plano
Tipo rotatorio
Tipo conductor neumático
Tipo suspensión
Tipo lecho fluidizado.

Para la combustión de carbón los tipos principales de hogares usados son:

- 1- Alimentadores mecánicos
- 2- Hogares de carbón pulverizado
- 3- Hogares de ciclón
- 4- Hogar de lecho fluidizado

⁶ Douglas M. Considine, Tecnología del carbón, Publicaciones Marcombo, 1986.



1- Alimentadores mecánicos

Los alimentadores mecánicos en diversos tipos se usaron en el pasado para estaciones Centrales generadoras. Actualmente su uso está confinado a servicios industriales y comerciales donde la demanda no excede 50.4 kg/s de vapor.

2- Hogares de carbón pulverizado

La rapidez de una reacción química heterogénea es controlada por la resistencia a la reacción ($1/A_c K_r$), la resistencia de la capa de ceniza ($L/D A_c$) y la resistencia a la transferencia de masa a través de la película de gas ($1/K_g A_c$)

Donde: A_c = área de la superficie reaccionante
 K_r = constante de la velocidad de reacción
 L = espesor de la capa de ceniza
 D = constante de difusión
 K_g = coeficiente de difusión del gas

Para partículas pequeñas la capa de ceniza es pequeña y puede despreciarse, a alta temperatura la resistencia a la reacción química es pequeña y puede despreciarse, por tanto la rapidez con que se quema la partícula es controlada por la difusión del O_2 a través de la película de gas.

En ese caso el tiempo requerido para quemar una partícula está dado por:

$$\text{Tiempo de residencia} = k d^2 / pp O_2$$

Donde: $pp O_2$ = presión parcial del O_2
 d = diámetro de la partícula
 k = constante de quemado.

Por tanto, la rapidez de reacción de una reacción química heterogénea es aumentada incrementando el área de la superficie del sólido, lo que se logra triturando y pulverizando el carbón.

Ventajas del hogar de carbón pulverizado.

- Se pueden construir en tamaños mucho mayores que los hogares de alimentación mecánica.
- Responden mejor a cambios de carga
- Capaces de quemar todos los rangos de carbón, desde antracita a lignito.
- Facilidad de combinar encendido con combustibles fluidos
- Eficiencia térmica aumentada debido a bajos requerimientos de aire en exceso (15 a 20 %) y bajas pérdidas de carbón.
- Altas velocidades de liberación volumétrica de calor



- Poca mano de obra

Muchas de estas ventajas son resultado directo de la reducción en el tamaño del carbón. El carbón pulverizado se comporta más como un gas que como un sólido, pirolizándose en parte al calentarse y quemándose rápidamente.

Algunas desventajas:

- costos de triturado y pulverización
- generación de ceniza volátil.

Una planta de 1000 MW quemando carbón con 7 % de ceniza produce aproximadamente 234 Ton/día de ceniza volátil.

3- Hogar de ciclón.

El carbón triturado (no pulverizado) se quema en el aire que entra tangencialmente a las paredes del hogar. Se alcanzan temperaturas de hasta 1730 °C por lo que la ceniza se funde y cubre las paredes. Los finos se queman en suspensión, las partículas más grandes son capturadas por la ceniza fundida y retenidas hasta que se queman.

Las velocidades de liberación volumétrica de calor son hasta 50 veces las del hogar de carbón pulverizado. Otra ventaja es la baja emisión de polvo ya que las paredes húmedas recogen y funden la ceniza que las toca. Una desventaja es la alta formación de escoria fundida.

4- Combustión en lecho fluidizado.

Es un recipiente vertical en el que se alimenta aire por debajo a una velocidad menor que la velocidad terminal de las partículas pero suficientemente grande para mantener las partículas en suspensión.

Es un sistema completamente homogeneizado, sin puntos calientes, lo que ayuda a evitar la formación de NO_x .

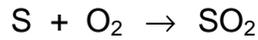
Por su construcción y funcionamiento se puede alimentar junto con el carbón un material sorbente que ayuda a eliminar el azufre del combustible.

Da altos coeficientes de transferencia de calor con el consiguiente ahorro en equipo.

Pueden quemarse carbones de baja calidad, de alto azufre, sin peligro de formar escoria pues funciona con baja temperatura de combustión y el SO_2 formado es eliminado por el sorbente dentro del lecho.



Si el sorbente es CaCO_3 la reacción de eliminación es:
(Temperatura aproximada 930°C)



Se ha encontrado que se necesita usar como sorbente aproximadamente el doble de la cantidad teórica requerida

Como ejemplo, para una planta de 1000 MW que quema carbón con 2 % de azufre y con una conversión de energía de 37 %, se requieren aproximadamente 22.2 Ton / hr de CaCO_3 .

Los lechos fluidizados pueden construirse fácilmente para operar bajo presión.

Una desventaja es que los gases de combustión salen a la misma temperatura que la del lecho de combustión, aproximadamente 930°C en la mayoría de los casos, con el consiguiente desperdicio de energía.



5. Comercio Internacional del Carbón

Los altos precios del petróleo en el año 1973, dieron inicio a una fase internacional a través del comercio del carbón, proporcionando un fuerte incentivo para convertir Centrales eléctricas y termoeléctricas a partir del petróleo, en la construcción de nuevas Centrales de energía a partir del carbón importado.

El comercio principalmente se realiza a través de dos mercados:

1. El mercado del Pacífico comprende Japón, Norte y Sur de Asia, se provee principalmente por Australia, Indonesia y China.
2. El mercado del Atlántico se provee por sub.- África, Polonia, US, Colombia y Venezuela. (Ver figura 9)

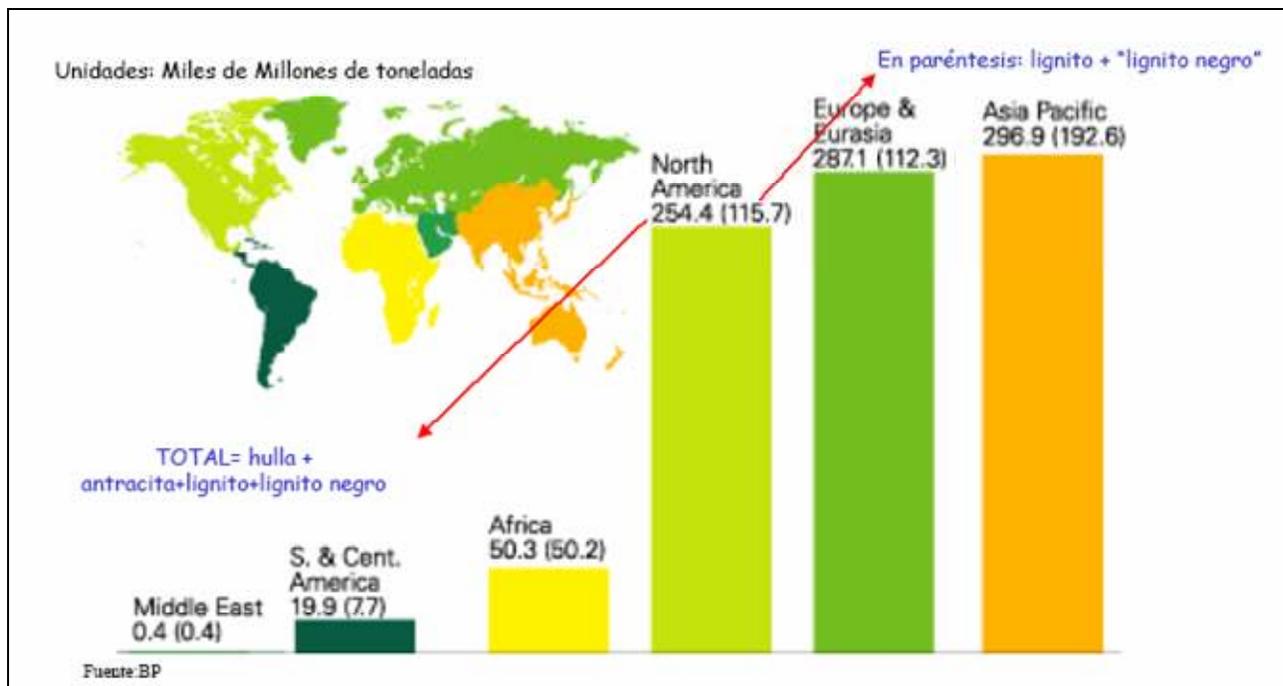


Figura 9.- Yacimientos de carbón repartidos en el mundo⁷

Las reservas probadas de este combustible son las más grandes a nivel mundial, como se puede ver en la figura 10 son casi 4 veces las del petróleo y 3 veces las del gas natural.⁸

⁷ Carbounión. Balance de Energía 2006 y Perspectivas de 2007 del Carbón (España 2006)

⁸ Carbounión. Balance de Energía 2006 y Perspectivas de 2007 del Carbón (España 2006)

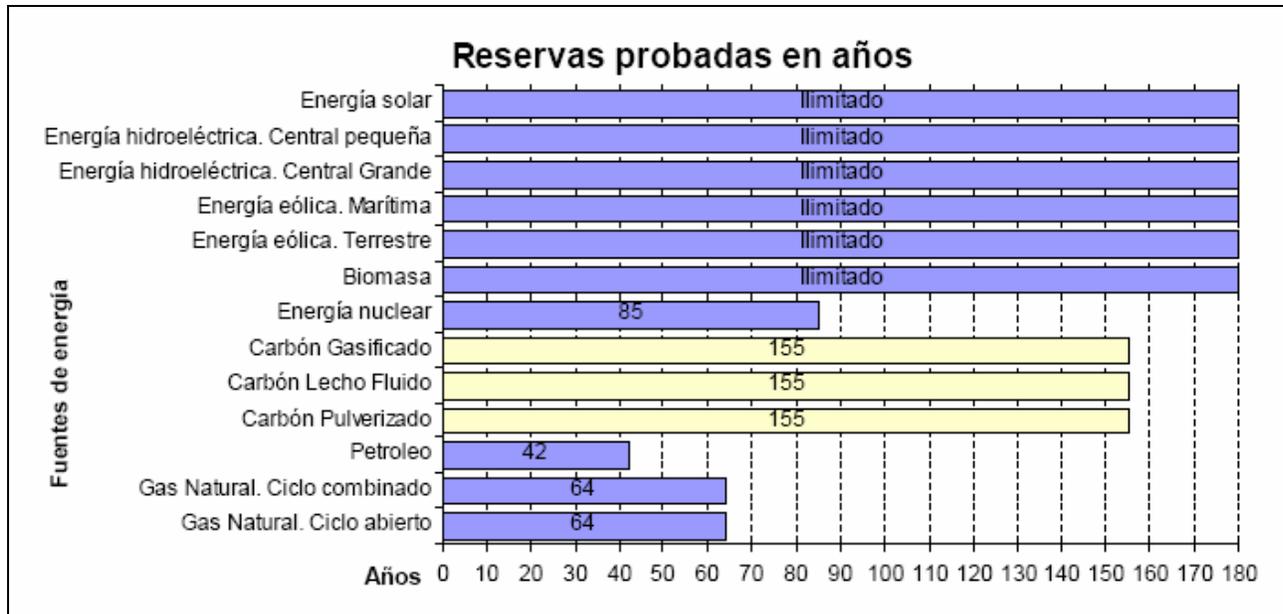


Figura 10.- Reservas Mundiales de Combustibles

*Los precios del carbón son presentados en el capítulo IV de este estudio, junto con los precios de otros combustibles.



I.5.- CENTRALES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE PRESIÓN SUPERCRÍTICA POR ENCENDIDO DE CARBÓN

HISTORIA

La tecnología Supercrítica tuvo sus inicios en los EE.UU. en los años cincuenta. Las primeras experiencias obtenidas en este país indicaban que tenían poca disponibilidad, es decir los paros forzados eran mayores que con las Centrales Subcríticas.

Posteriormente la tecnología fue adoptada en Japón en los años sesenta, donde fue mejorada por los miembros de las industrias relacionadas. Las experiencias tomadas de aquí del desempeño de Centrales Supercríticas mostraron que estas Centrales simplemente son fiables como las Centrales Subcríticas. Ahora en Europa así como en Asia, Sudáfrica y Oceanía se ha adoptado la tecnología Supercrítica casi como una norma, y en el mundo entero más de 400 Centrales Supercríticas están en operación.

Las cualidades que se observaron en este tipo de Centrales fue principalmente que se obtenían mayores eficiencias, además de que por la crisis de petróleo en el periodo de 1973-1974, el carbón fue tomando importancia como una alternativa energética mundial.

Los principales problemas que enfrentó esta tecnología fueron básicamente el desarrollo de nuevos materiales para soportar las altas presiones y temperaturas en los equipos, el ciclo empleado es el ciclo Rankine utilizado en una central subcrítica, pero ahora se tenían que adaptar nuevos equipos como son una caldera supercrítica y una turbina, estos dos equipos, la bomba de agua de alimentación de caldera y la tubería que conduce el vapor recalentado son la diferencia entre una central subcrítica y una supercrítica.

El desarrollo tecnológico permitió la creación de materiales de alta resistencia a las fuerzas de presión, los cuales han sido utilizados para soportar altas regiones de temperatura y han permitido a la tecnología de calderas Supercríticas extender las temperaturas de vapor a más de 593 °C y 22.5 MPa de presión, reflejando un deseo fuerte de lograr una alta eficiencia. Una mayor eficiencia nos indica que se reduce el consumo relativo de carbón en relación a la salida de energía eléctrica.

La tecnología de Calderas Supercríticas contribuirá no sólo para proporcionar energía estable, de alta calidad y para satisfacer la creciente demanda de energía eléctrica sino también una buena solución por reducir las emisiones de CO₂ y reducir el impacto al medio ambiente.



CICLO RANKINE SUPERCRÍTICO

El ciclo Supercrítico es una expresión termodinámica que describe el estado de una sustancia donde no hay ninguna distinción clara entre el líquido y la fase gaseosa. Los alcances de agua en este estado a una presión sobre 22,1 MPa. (Ver figura 11)

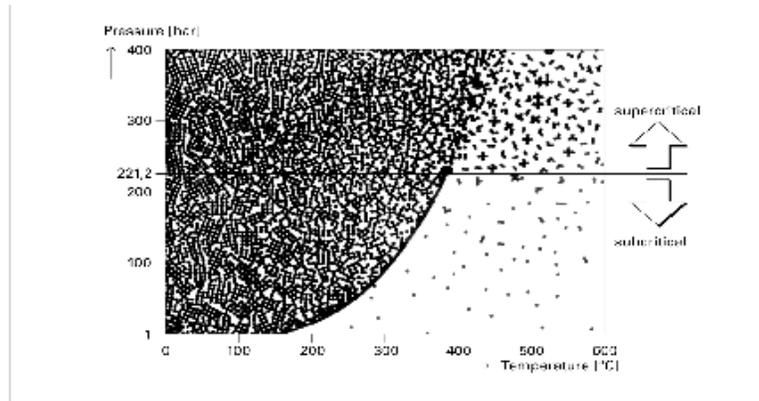


Figura 11.- Estructura molecular de agua en función de Temperatura y Presión

Hasta una presión que opera alrededor de 19 MPa en el evaporador (Domo) de la caldera, el ciclo es Subcrítico. Esto significa que hay una mezcla no homogénea de agua y vapor en la parte del evaporador. En este caso una caldera tipo domo es utilizada por las necesidades de separar el agua del vapor antes de que el vapor sea conducido al sobrecalentador y después llevado a la turbina.

Sobre una presión que opera a 22,1 MPa en el evaporador de la caldera, el ciclo es Supercrítico. La sustancia de trabajo en el ciclo es un fluido en una sola fase con propiedades homogéneas y no hay necesidad de separar el vapor del agua en el domo, por lo que el vapor pasa en un solo paso al sobrecalentador, a este tipo de caldera se le llama de un paso y por consiguiente las “calderas de un paso” son utilizadas en las Centrales con operación supercrítica.

Cabe destacar que las calderas Supercríticas tienen instalado un separador vapor /agua para cuando la central esta operando bajo cargas mucho mas bajas que la nominal, alrededor de un 25% (Operación húmeda), el separador de agua hace la función de domo separando el agua del vapor. (Ver figura 12)

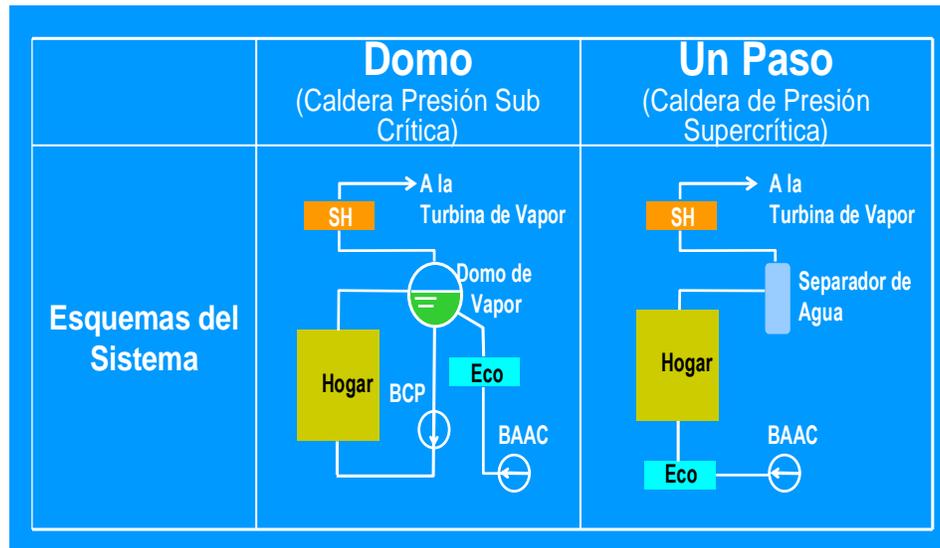


Figura 12.- Caldera con domo y caldera de un paso

Hoy en día con los avances actuales en aceros y las condiciones de vapor obtenidas permiten que en Centrales de Presión Supercrítica por Encendido de Carbón, existan eficiencias que exceden 45%, dependiendo de las condiciones ambientales.

Las condiciones de vapor hasta 30 MPa /600°C/620°C se logran usando aceros con 12% volumen del Cromo. Hasta 31,5 MPa/620°C/620°C se logra usando Austenita que es un probado, pero caro material. Las aleaciones de níquel, permitiría 35 MPa/700°C/720°C, produciendo eficiencias hasta del 48%.



MODIFICACIONES EN EQUIPOS QUE SE DEBEN DE TOMAR EN CUENTA PARA EL DISEÑO.

El Turbogenerador

Hay disponible varios tipos de diseños de turbinas para su uso en Centrales Supercríticas. Estos diseños no necesitan fundamentalmente diferir de diseños usados en Centrales Subcríticas. Sin embargo, debido al hecho que la presión de vapor y temperatura son más elevadas en las Centrales Supercríticas, el espesor de la pared de los materiales seleccionados para la turbina debe ser considerado para el diseño.

Mientras las Centrales Subcríticas usan calderas tipo domo, están limitadas en su ritmo de cambio de carga debido al domo en la caldera. Las Centrales Supercríticas usan una caldera de un solo paso, estas pueden lograr los cambios de carga rápidos cuando la turbina es de diseño conveniente.

La Caldera

Aparte del turbogenerador, la caldera es un componente importante en las modernas Centrales de Presión Supercrítica por Encendido de Carbón. Estos conceptos, su diseño e integración global en la planta tienen influencia considerable en los costos, operabilidad y disponibilidad de la central.

Las calderas de un paso han sido favorecidas en muchos países por más de 30 años.

Estas pueden usarse hasta con una presión de más de 30 MPa sin cualquier cambio en la ingeniería del proceso. Sin embargo los espesores de la pared de los tubos y calentadores necesitan ser diseñados para empatar el nivel de presión de diseño. Al mismo tiempo, el domo de la caldera que es muy pesado y es localizado en la cima de la caldera puede eliminarse. Subsecuentemente las calderas de un paso puede operarse a cualquier presión de vapor, el funcionamiento de presión variable se introdujo en las Centrales a fines de los años treinta para hacer el funcionamiento de las mismas más fácil.

Bomba de Agua de Alimentación (BAA)

Una comparación entre equipo de ciclo Subcrítico y un Supercrítico por Encendido de Carbón muestran que las diferencias se limitan a un número relativamente pequeño de componentes, uno de estos equipos es la bomba de agua de alimentación a la caldera y el equipo de agua de alimentación de alta presión. La bomba de agua de alimentación será capaz de aumentar la presión arriba de los 22.1 Mpa, por lo que la potencia de esta bomba es mucho mayor que una bomba de agua de alimentación utilizada en una Central Subcrítica. Estos componentes representan menos de 6% del valor total de la Central por Encendido de Carbón.

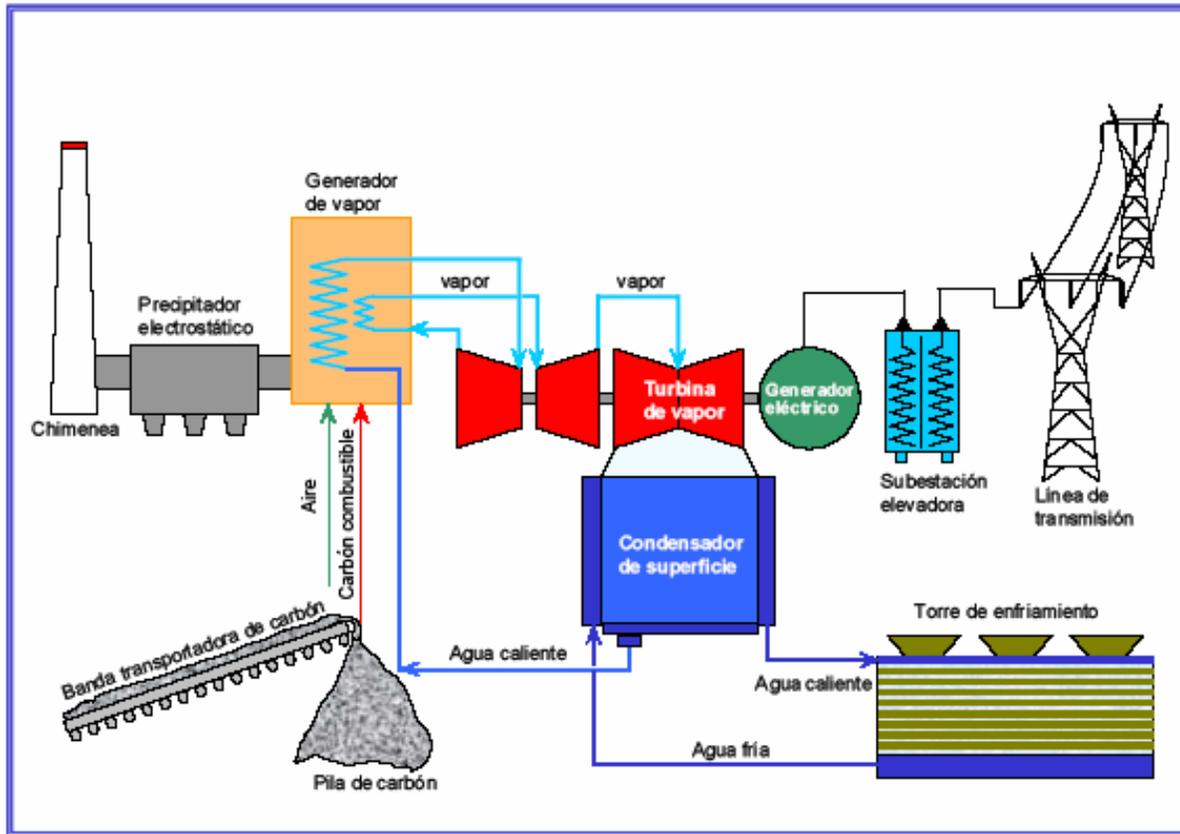


Figura 13.- Esquemas General de una Central de Generación Eléctrica de Presión Supercrítica por Encendido de Carbón

* La descripción detallada de los equipos de un Central de Generación Eléctrica de Presión Supercrítica por Encendido de Carbón, además de su función se explican mas a detalle en el capítulo III de este estudio.

Equipo de Control de Emisiones

Las técnicas para el control de contaminantes atmosféricos se pueden clasificar en tres categorías: sustitución de combustibles, modificación a la combustión y control después de la combustión.

La sustitución de combustibles reduce los óxidos de azufre o de nitrógeno al quemar combustibles con menores contenidos de azufre o nitrógeno, respectivamente; las partículas sólidas también se reducen cuando energéticos más limpios son utilizados.

La modificación de la combustión incluye cualquier cambio físico u operacional en la caldera y es aplicado principalmente para el control de los óxidos de nitrógeno.



El control después de la combustión del combustible se utiliza para el control de emisiones de partículas sólidas y para los óxidos de azufre y de nitrógeno.

Equipos para control de emisiones de bióxido de azufre

A la fecha, la tecnología más desarrollada para reducir las emisiones de bióxido de azufre es la desulfuración de los gases producto de la combustión. En ésta descripción se considera un proceso de desulfuración húmedo:

Proceso Chiyoda Thoroughbred 121: se puede utilizar en plantas nuevas y existentes. Consiste en un proceso húmedo de desulfuración de segunda generación que pone en contacto al gas efluente con una solución de carbonato de calcio y con oxígeno en un reactor de burbujeo, para oxidar los óxidos de azufre y obtener sulfatos de calcio (yeso). Este subproducto puede ser utilizado en la industria de la construcción.

Equipos para control de emisiones de óxidos de nitrógeno

Las tecnologías para el control de los óxidos de nitrógeno (NO_x) pueden clasificarse en dos categorías:

- Tecnologías para el control de la combustión que incluyen la recirculación de gases, los quemadores de bajo NO_x y la combustión en dos etapas
- Tecnologías para el tratamiento de los gases de combustión que comprenden la reducción selectiva catalítica y la no catalítica

La Figura 14 ilustra al reductor selectivo catalítico: en el interior de la caldera se inyecta amoníaco para formar una mezcla con los gases de combustión que luego pasan a través de un lecho catalizador (RSC) colocado en la zona de baja temperatura del generador de vapor. El NO_x es descompuesto en nitrógeno molecular N₂ y agua H₂O (Figura 15) .El catalizador (RSC) facilita eficientemente la reacción entre el amoníaco y el NO_x. (ver figura 16)

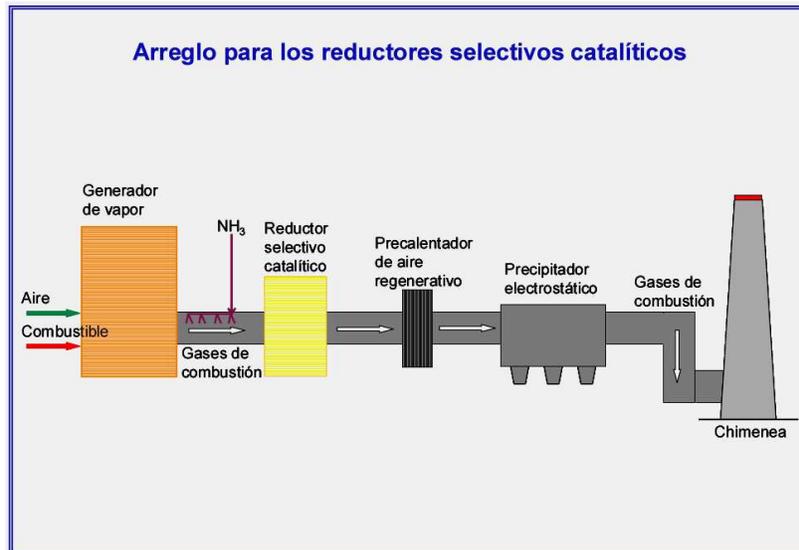


Figura 14. Reductor Selectivo Catalítico

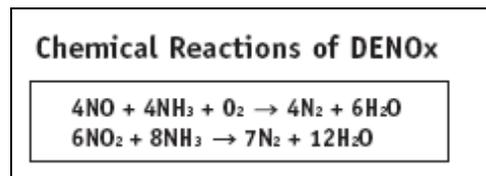


Figura 15. Reacción Química

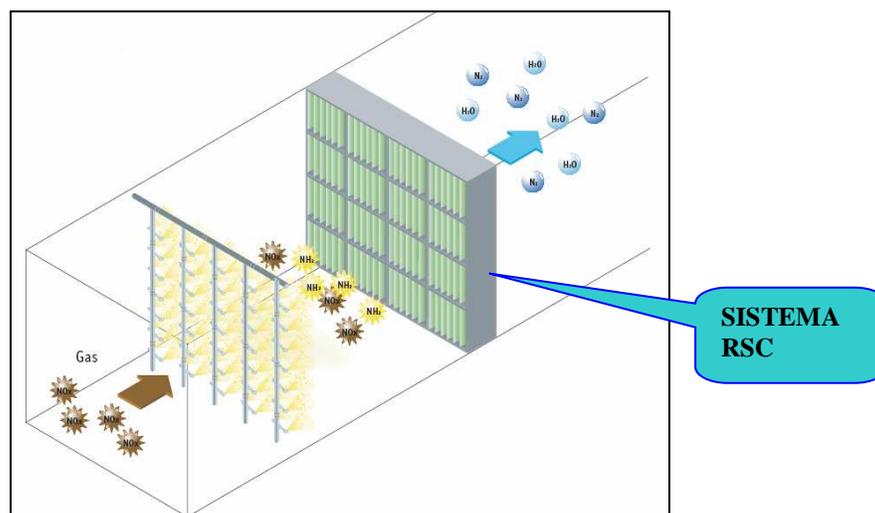


Figura 16. Principio básico de eliminación de NOx



La reducción selectiva no catalítica se basa en la inyección de amoníaco o urea, dentro del flujo de gases de combustión, para reducir los óxidos de nitrógeno a nitrógeno molecular y agua. El proceso es eficiente a bajas temperaturas por lo que se realiza la inyección en el recalentador o el sobrecalentador de la caldera. (Ver figura 17)

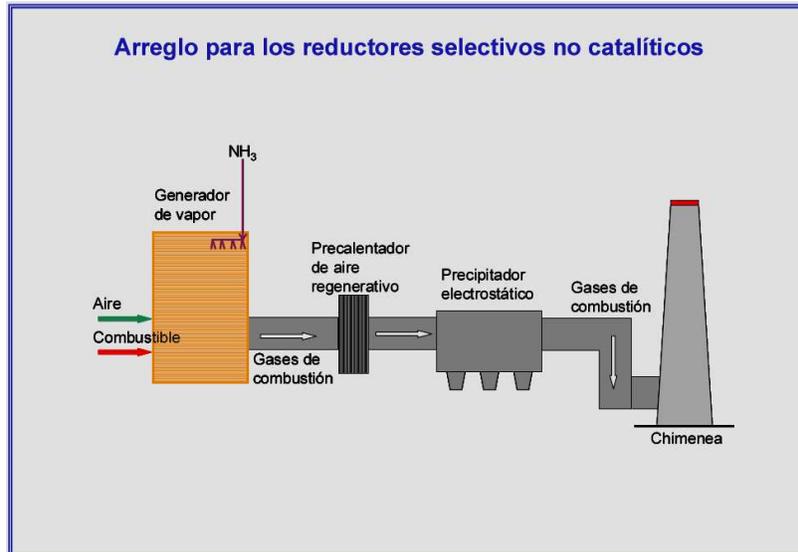


Figura 17. Reducción Selectiva no Catalítica

Eficiencia y Fiabilidad de las Centrales Supercríticas

Más de 400 Centrales Supercríticas están operando en los EE.UU., Europa, Rusia y Japón. Debido a los diferentes enfoques en sus diseños y operación, los resultados de su desempeño no son uniformes, pero se ha demostrado que la disponibilidad de Centrales Supercríticas es igual o aun superior que aquéllos de las Centrales Subcríticas comparables.



CENTRALES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE PRESIÓN SUPERCRÍTICA EN MÉXICO.

En el Mundo la operación y diseño de Centrales de Generación Eléctrica de Presión Supercrítica no se limitan solo a países desarrollados. Desde hace varios años existen Centrales Supercríticas que operan con calderas de un paso y condiciones de presión supercrítica en los países en vías de desarrollo. Por ejemplo el prestador de servicio eléctrico en Sudáfrica ESKOM ha estado operando calderas de un paso durante varios años además de que la industria local ha participado en el diseño y manufactura de estas Centrales. La Central Supercrítica por Encendido de Carbón Shidongkou 2 x 600MW en el área de Shangai en China se puso en el funcionamiento a principios de los 90's.

Actualmente México no cuenta con ninguna Central de Generación Eléctrica de Presión Supercrítica por Encendido de Carbón. En febrero de 2006 se dio a conocer el Contrato que firmó la CFE con el Consorcio formado por Carboeléctrica Diamante, S.A. de C.V. / Mitsubishi Corporation para la realización del Proyecto CCE Pacífico. El Contrato cubre la construcción de la primera Central de Generación Eléctrica de Presión Supercrítica por Encendido de Carbón en México, las Bases de Diseño de la Central deberá ser de acuerdo a lo estipulado en las Especificaciones Técnicas hechas por la CFE. El tipo de Contrato es OPF (Obra Pública Financiada).

La CCE Pacífico será instalada dentro de la C.T. Pdte. Plutarco Elías Calles (Petacalco) y tendrá la capacidad de generar 651 MW de electricidad, haciendo de ésta una de las Centrales eléctricas más grandes del país. El inicio de la Operación Comercial está programado para febrero de 2010.

El Contrato de esta nueva planta es el primer macro-proyecto de construcción de infraestructura concedido a una empresa japonesa posterior a la firma del Acuerdo de Asociación Económica entre México y Japón, que entró en vigor en abril de 2005.

En observancia a los lineamientos de este Acuerdo, CFE responderá a las necesidades de México por expandir la capacidad la generación de energía de manera que se pueda satisfacer la creciente demanda de electricidad. De igual manera colaborará con el programa para diversificar sus fuentes de energía, a fin de reducir el impacto negativo de los precios del petróleo y del gas natural.



CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA C.T. PDTE. PLUTARCO ELÍAS CALLES (PETACALCO)



II.1.-DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA C.T. PDTE. PLUTARCO ELÍAS CALLES¹

La planta se ubica en el Municipio de La Unión, Estado de Guerrero, kilómetro 28.5 de la Carretera Federal 200, Lázaro Cárdenas – Zihuatanejo, a 15 Km. al sur de la ciudad de Lázaro Cárdenas, Michoacán. La Central se localiza a aproximadamente 7 Km. del puerto de descarga y a 5 Km. de los patios de almacenamiento de carbón,

La capacidad de estos patios es de 1'920,000 toneladas de carbón. El combustóleo se almacena en 4 tanques con capacidad de 34,600 m³ cada uno. Con la construcción del Proyecto CCE Pacífico sólo se tendrán 2 tanques de almacenamiento de combustóleo.

La Central lleva también el nombre del político y general revolucionario Plutarco Elías Calles, nativo de Guaymas, Sonora, quien fue dos veces Ministro de Guerra, Gobernador de Sonora y Presidente de la República de 1924 a 1928.

La tecnología denominada carboeléctrica, para generar energía eléctrica, utiliza como combustible primario carbón para producir vapor de alta presión (entre 11.7 y 16.6 MPa) y alta temperatura (del orden de 520°C), el cual se conduce hasta las aspas o álabes de una turbina de vapor, haciéndola girar y al mismo tiempo hace girar el generador eléctrico que esta acoplado al rotor de la turbina de vapor; se fundamenta en el mismo principio que la tecnología conocida como Termoeléctrica de Tipo Vapor, que emplea combustóleo, gas o diesel como combustible, para hacer girar los generadores eléctricos, el único cambio importante es que las cenizas de los residuos de la combustión, requieren de varias maniobras y espacios muy grandes para su manejo y confinamiento.

La Central utiliza como combustible principal carbón importado, el cual es transportado en barcos graneleros tipo CAPESIZE con capacidad de hasta 150,000 toneladas de peso muerto. También se utiliza combustóleo pesado como combustible alternativo y diesel para los arranques, estos últimos se descargan desde buques-tanque tipo PANAMAX de 50,000 toneladas de peso muerto de capacidad. Debido a que estas unidades generadoras cuentan con quemadores de combustible diseñados para poder quemar carbón y también combustóleo, se le denomina Central "Dual".

En las instalaciones de esta Central se cuenta con seis unidades generadoras en operación con una capacidad nominal de 350 MW cada una, haciendo una capacidad instalada total de 2,100 MW. Las fechas de entrada en operación comercial de sus unidades generadoras son las siguientes: U-1, noviembre 8 de 1993; U-2, diciembre 14 de 1993; U-3, octubre 16 de 1993; U-4, diciembre 21 de 1993; U-5, julio 27 de 1994 y U-6, noviembre 16 de 1994.

La energía eléctrica producida en la Central fluye a través de quince líneas de transmisión: cuatro de 400 kV (tres al Estado de Michoacán y una al Estado de México);

¹ Prontuario de información técnica Pdte. Plutarco Elías Calles (Petacalco), CFE



siete de 230 kV (seis al Estado de Michoacán y una al Estado de Guerrero), cuatro de 115 kV (tres al Estado de Michoacán y una al Estado de Guerrero).



Figura 18.- Vista superior de la C.T. Pdte. Plutarco Elías Calles



II.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS Y SISTEMAS MECÁNICOS PRINCIPALES DE LA C.T. PDTE. PLUTARCO ELÍAS CALLES²

II.2.1 GENERADOR DE VAPOR

El Generador de Vapor produce vapor sobrecalentado con una presión de 17.36 MPa como máximo, a una temperatura de 541 °C y vapor recalentado a 541 °C; para el Turbogenerador con una capacidad nominal de 350 MW la circulación en el Generador de Vapor es de tipo “Circulación Controlada”; a continuación se dan algunos datos técnicos:

Fabricante: Mitsubishi Heavy Industries

Tipo de circulación: Circulación Controlada

Presiones de diseño:	KPa
Domo	20,398
Sobrecalentador	20,398
Recalentador	20,398
Economizador	5,296
Paredes de Agua	20,398

Datos físicos

Superficie de calefacción efectiva	m ²
Hogar	2,600
Paso de convección	750/1 360
Sobrecalentador: primario	5,270
secundario	1,230
terciario	1,660
cuaternario	1,020
Recalentador: primario	430
secundario	1,700
terciario	1,430
Economizador	12,000
Total	29,500

² Prontuario de información técnica, C.T. Pdte. Plutarco Elías Calles (Petacalco), CFE



Pulverizadores de carbón

Fabricante	Mitsubishi
Numero de pulverizadores por Generador de Vapor:	5
Capacidad	43.1 ton/hr
Flujo de aire máximo a través del pulverizador	1 360 m ³ /min

Número de quemadores

Para carbón	20
Para combustible calentamiento	16
Numero de pilotos	4
	24

II.2.2 TURBINA DE VAPOR

La Turbina de Vapor tiene un arreglo en Tandem Compound de dos carcazas, (Turbina de alta e intermedia presión y Turbina de baja presión) con dos flujos de escape.

La turbina, suministra el vapor de extracción requerido por todos los calentadores de Agua de alta y baja presión. (Ver Balance Térmico)

Para el calentamiento regenerativo se cuenta con siete calentadores dos calentadores de alta presión, cuatro calentadores de baja presión y un calentador desgasificador, también de baja presión.

Para el manejo de la turbina, ésta cuenta con el sistema EHC, (Control Electrohidráulico de la Turbina), que consiste en un gobernador principal y uno auxiliar, Control de la velocidad desde cero hasta la velocidad nominal y desde cero hasta máxima carga), un mecanismo de disparo de sobrevelocidad, alarmas de vibraciones anómalas, control para la linealidad de respuesta de la posición de las válvulas con respecto a su velocidad (aberturas de las válvulas en %).



II.2.3 VÁLVULA DE PARO PRINCIPAL Y DE RECALENTAMIENTO

El vapor sobrecalentado a la entrada de las válvulas de paro principal de cierre hermético, localizadas a ambos lados de la carcaza: dos en la turbina de alta presión y dos en la turbina de presión intermedia.

Estas válvulas tienen las siguientes características:

- Tener preparaciones para soldar a tope y por lo tanto ser herméticas.
- Soportan una presión máxima de 29.4 Mpa, cuando están totalmente cerradas.

II.2.4 SISTEMA DE CONDENSADO

La función de este sistema consiste una vez ya condensado el “vapor de escape”, en el Pozo Caliente, el cual se convierte en “Agua de Condensado” (condensado) sea enviado hasta el desgasificador, a través de un ciclo regenerativo.

El Agua de Condensado se bombea desde el Pozo Caliente a través de las Bombas de Condensado y se hace pasar por las unidades pulidoras de condensado de donde y mediante la bifurcación de la tubería, se hace llegar el condensado por uno de los ramales al intercondensador y de este al post-condensador del eyector principal de aire, de aquí al enfriador de drenes, hasta llegar al Calentador No. 1 que se encuentra en posición horizontal entre la Turbina de Vapor y el Condensador, después le sigue el Calentador No. 2, 3, y 4. (hasta aquí llega el sistema anterior)

Para efectos de reposición del agua que se pierde por purgas en el Generador de Vapor, el sistema cuenta con un Tanque de Almacenamiento de Condensado, y es alimentado por medio de las bombas de agua del sistema de agua desmineralizada de la Planta de Tratamiento de Agua de Repuesto del Ciclo.

El agua de repuesto al Condensador, fluye desde el Tanque de Almacenamiento de Condensado por diferencia de presiones entre el tanque y el condensador, de esta manera se mantiene el nivel de operación del Pozo Caliente.



Es sistema de Condensado cuenta con el siguiente equipo:

a) Condensador

Su objetivo es condensar el “vapor de escape”, procedente de la turbina de vapor de baja presión, para proporcionarlo en forma de condensado a la succión de las bombas de condensado.

Tipo: Superficie, con caja de agua dividida y zona integral de almacenamiento de condensado llamado Pozo Caliente.

El Condensador, es de construcción soldada, horizontal, tipo superficie, de un solo cuerpo con zona integral de almacenamiento de condensado, cajas de agua dividida, tubos rectos.

b) Bombas de Condensado

Estas bombas tienen la función de succionar el agua desde el Pozo Caliente del condensador y descargarla hasta el Desgasificador; pasándola a través de los Pulidores de Condensado y después de los Calentadores de baja presión. Estas bombas son de tipo centrífugo, vertical, suspendida y sumergida en un tanque de succión el accionamiento es directo por motor eléctrico de inducción.

c) Unidades Pulidoras

Este es un sistema que forma parte del Sistema de Condensado, el cuál recibe el nombre de “Sistema de Pulidores de Condensado”; cuya función es la de eliminar del condensado: los residuos metálicos, los productos de corrosión y los sólidos disueltos por medio del intercambio iónico, antes de regresarlo al Generador de Vapor.

El condensado pasa a través de los tanques Pulidores de Condensado, donde se filtra y desmineraliza, antes de integrarse nuevamente al ciclo.

El sistema está formado por el siguiente equipo:

- a. Tanque Pulidores de Condensado
- b. Tanques de sosa cáustica
- c. Tanque de ácido sulfúrico
- d. Tanque de regulación catiónica



e. Tanque de regulación aniónica

d) Tanque de almacenamiento de Condensado

Como su nombre lo indica, es la de almacenar agua y reponerla al Generador de Vapor, que éste pierde ya sea por purgas ó en el ciclo.

El agua que se encuentra en el tanque proviene del Sistema de Tratamiento de Agua Desmineralizada.

Este tanque es cilíndrico, vertical, atmosférico y techo cónico, está conectado al Pozo Caliente para así mantener el nivel nominal de operación de éste.

e) Calentadores de baja presión

Son cuatro Calentadores que reciben vapor de la Turbina de baja presión; su función es la de aumentar la temperatura del agua del Sistema de Condensado, y así llegue con mayor temperatura al Generador de Vapor.

Todos los Calentadores son verticales, tubos en "U", de tipo de superficie; a excepción de Calentador No. 1 que se ubica en el cuello del Condensador, es vertical, también tipo superficie.

II.2.5 SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN

La función de Sistema de Agua de Alimentación, es la de suministrar agua al Generador de Vapor, (Domo) y darle un precalentamiento a través de los calentadores de alta presión que utilizan vapor proveniente de las extracciones de la Turbina de presión intermedia.

Es sistema abarca desde el desgasificador hasta la entrada del "Economizador".

Por medo de las Bombas de Agua de Alimentación, se suministra la presión requerida por el ciclo. Las cuales succionan desde el Tanque de Almacenamiento del Desgasificador que se encuentra a una altura aproximada de 55 m sobre el nivel de la planta, que sirve para cubrir la carga neta positiva de succión (CNPS) requerida por las Bombas de Alimentación, y así tener una presión mayor, que la existente en el Domo.



Este sistema cuenta con el siguiente equipo:

- a) Desgasificador
- b) Tanque de Almacenamiento de Agua Desgasificada

El desgasificador tiene dos funciones principales las cuales son:

- Calentar el agua de condensado, proveniente de los Calentadores de baja Presión
- Eliminar el aire de condensado y los gases no condensables, contenidos en el agua de condensado, para evitar corrosión e incrustaciones en tuberías y equipos, principalmente en el Generador de Vapor

El desgasificador, (Deareador) consiste en un calentador de mezcla tipo combinado; charolas y espreas, con condensador interno de venteo teniendo un dimensionamiento tal que el contenido residual de oxígeno no exceda de $0.0005 \text{ cm}^3/\text{lt}$.

El Tanque de Almacenamiento de Agua Desgasificada, (Tanque de Oscilación) se encuentra exactamente abajo del Desgasificador, es de construcción horizontal y está unido por medio de líneas igualadoras de presión.

Este tanque se conecta a las Bombas de Agua de Alimentación, cuyo flujo lo regula un variador de velocidad, según la señal del nivel de demanda que reciba del Domo.

- c) Bombas de Agua de Alimentación

Tienen la función de succionar del Tanque de Almacenamiento del Desgasificador, el condensado y suministrar la presión requerida por el ciclo.

Las Bombas de Agua de Alimentación son centrifugas, horizontales, tipo barril, de pasos múltiples, doble succión, acopladas a un motor de inducción a través de un variador de velocidad. El cual suministra una infinita variedad de velocidades de salida, desde cero hasta la máxima velocidad de rotación de la bomba, de acuerdo a los flujos demandados por las variaciones del nivel en el Domo.

Se tienen tres Bombas de Agua de Alimentación, de una capacidad de operación del 50% cada una. El arreglo del sistema de bombeo de Agua de Alimentación, se diseñó de acuerdo para funcionar con una sola bomba para cargas menores del 50%; para cargas mayores del 50%, se utilizan las dos bombas, quedando una de reserva.



CAPÍTULO III
DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL CARBOELÉCTRICA
C.C.E. PACÍFICO



III.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA C.C.E. PACÍFICO¹

El día 22 de diciembre de 2005 se firmó el Contrato No. PIF-030/2005, entre CFE y el Consorcio formado por Carboeléctrica Diamante, S.A. de C.V. y Mitsubishi Corporation, que comprende el diseño, la ingeniería, el suministro y la construcción de la Central Carboeléctrica C.C.E. Pacífico, con una Capacidad Neta Garantizada de 651.16 MW a Condiciones de Sitio.

La planta se ubicará en el sitio de Petacalco, dentro de la C.T. Presidente Plutarco Elías Calles, en el Municipio de La Unión, en el Estado de Guerrero, kilómetro 28.5 de la Carretera Federal 200, Lázaro Cárdenas – Zihuatanejo, a 15 Km. al sur de la ciudad de Lázaro Cárdenas, Michoacán.

El proyecto consistirá de un generador de vapor supercrítico, turbina de vapor, generador eléctrico y su equipo asociado. La planta designada como CCE Pacífico genera una capacidad neta de 651.16 MW a un nivel de voltaje de 400 kV interconectado con 230 kV por medio de un autotransformador de 375 MVA.

El generador de vapor es de recalentamiento radiante supercrítico, tiro balanceado, tipo exterior con rango máximo de evaporación continua de 2250 t/h. El generador de vapor estará diseñado para producir vapor eficientemente para la turbina de vapor y utiliza carbón como un combustible base para la operación y aceite diesel para el propósito de arranque.

La turbina de vapor es de condensación recalentada, tres carcadas, flujo cuádruple, tipo interior con condición de vapor nominal de 24.22 MPa, y 538/566 grados °C. La turbina de vapor que está directamente acoplada al generador eléctrico, estará diseñada para transformar eficientemente la energía del vapor en energía eléctrica en conjunto con el generador eléctrico.

El generador eléctrico es de rotor cilíndrico montado horizontalmente, tipo de campo rotatorio con salida nominal de 756.2 MVA a factor de potencia de 0.9 y temperatura del agua de enfriamiento de 41 grados °C.

El sistema de agua de enfriamiento principal (Agua de Circulación) utilizado será una mezcla variable de agua de mar con agua de río del Río Balsas para enfriamiento, en un circuito abierto, a través de una obra de toma o fosa, suministrada a través de un canal vertedor, de las unidades existentes. Esta agua de enfriamiento también se utilizará como agua de enfriamiento primaria al enfriador de agua de enfriamiento de circuito cerrado, en el cual el agua de calidad desmineralizada es enfriada para utilizarse para el enfriamiento del equipo auxiliar. La descarga del sistema se llevará a cabo aguas abajo de la obra de toma, en el mismo canal vertedero de agua de circulación existente de las unidades actualmente en operación.

¹ Prontuario de información técnica, CCE Pacífico, CFE



El sistema de agua de la planta utilizará agua cruda de un acueducto y de perforaciones nuevas, y se recibe en los tanques de almacenamiento de agua de servicio y contra incendio. El agua recibida será tratada en la nueva Planta de Desmineralización (Planta de Osmosis Inversa) explotando también la Planta de Desmineralización existente (Intercambio Iónico) y alimenta agua para las Unidades 5 y 6 existentes de Petacalco y la nueva instalación de generación.

El sistema de manejo de carbón el cual sirve para la unidad nueva que se extenderá del sistema de transporte de carbón existente de la Unidad 6 Petacalco, suministrará el carbón a utilizarse como combustible principal de la nueva unidad de generación. El aceite diesel se utilizará como un combustible de arranque para el generador de vapor y para un generador diesel de emergencia.

El sistema de manejo y disposición final de ceniza incluye desde la extracción de la ceniza producida por la combustión del carbón hasta el sistema de transportación existente y descarga de ceniza al área de disposición final. La ceniza será transportada por medio de bandas transportadoras existentes y nuevas bandas hasta el nuevo patio de Ceniza Zona Sur.

El sistema de vapor auxiliar estará interconectado con las unidades existentes para proporcionar vapor suplementario para arrancar la unidad antes de producir vapor para ser extraído de la propia unidad.

La energía producida por esta Planta será transmitida a la Subestación de Potencia Lázaro Cárdenas existente, ubicada dentro del sitio de la Central Plutarco Elías Calles. Ésta estará conectada a una bahía de 400 KV y una conexión hecha a una bahía de 230 KV a través de un autotransformador de 230/400 KV.

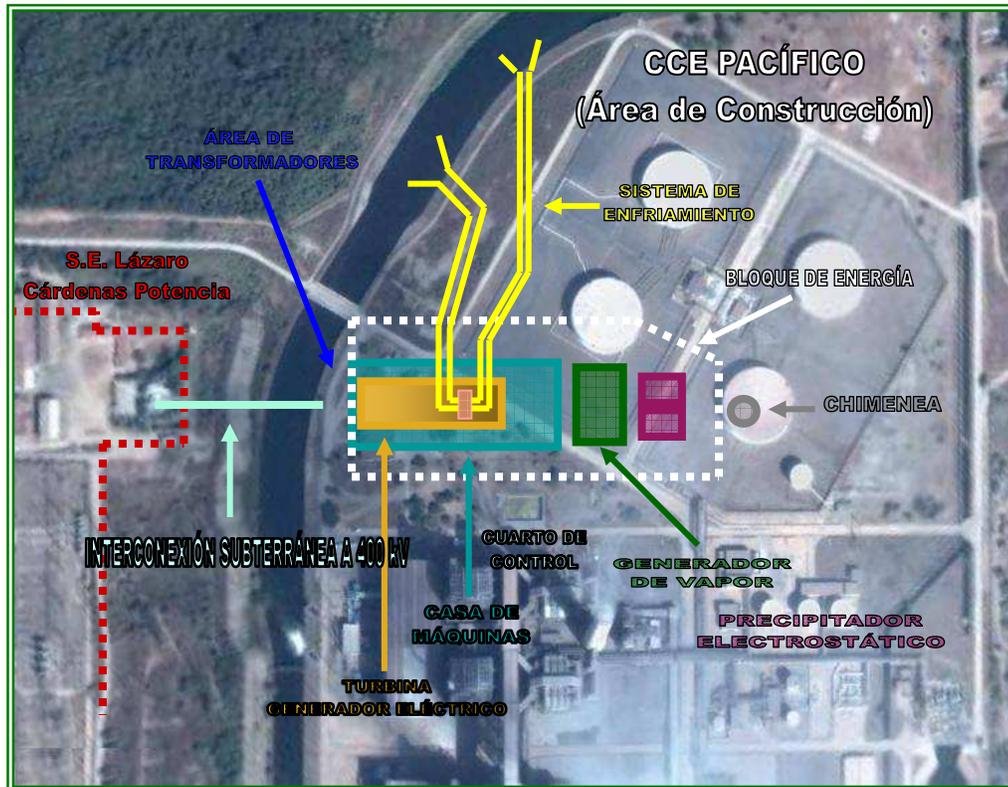


Figura 19. Vista aérea de la CCE Pacifico



III.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS Y SISTEMAS MECÁNICOS PRINCIPALES DE LA C.C.E. PACÍFICO²

III.2.1 GENERADOR DE VAPOR

Función del Sistema

El generador de vapor produce vapor sobrecalentado de 542 °C a 25.1 MPa y vapor recalentado de 568 grados °C, para la turbina de vapor con una capacidad de 651 MW netos a condiciones de diseño.

La capacidad máxima continua del generador de vapor es de 2,250,000 Kg./hora que cumple la capacidad demandada por la turbina cuando opera a VTA (válvula completamente abierta) con todos los calentadores de agua de alimentación en servicio.

Descripción general del Sistema y sus Componentes

La caldera estará diseñada para quemar eficientemente carbones de diseño (Bituminosos) y adoptará el sistema de quemado tipo directo de aire primario frío, con quemadores de quemado circular empleando pulverizadores verticales. La uniformidad y estabilidad de quemado del hogar no será afectada cuando cualquier pulverizador esté fuera de servicio o sea puesto en servicio.

Sistema de Agua y Vapor

El flujo máximo de agua a través de las paredes de agua se asegurará por la bomba de agua de alimentación. El agua excesiva debido a la dilatación y como resultado de la diferencia entre el flujo mínimo de agua de alimentación y la salida de vapor saturado será descargada del recipiente de separación al condensador. El sistema será completado con la tubería de interconexión, válvulas de control de acción rápida, válvulas motorizadas de aislamiento y separador de agua.

El vapor de salida del separador de agua pasa a través de los sobrecalentadores. El vapor de salida del sobrecalentador final es guiado a la turbina de alta presión (AP) a través de la tubería de vapor principal. El vapor de escape de la turbina de alta presión (AP) regresa al generador de vapor a través del tubo de recalentamiento frío. El vapor de recalentamiento pasa a través de los recalentadores. El vapor de salida del recalentador final es guiado a la turbina de presión intermedia (PI).

² Prontuario de información técnica, CCE Pacífico, CFE



Sistema de Combustión de Carbón

El carbón del silo es alimentado al pulverizador a través del alimentador de carbón, en donde el carbón es pulverizado hasta cierto tamaño de partícula el cual es clasificado por el separador rotativo.

El carbón pulverizado y clasificado, es enviado a través de las tuberías de carbón pulverizado al quemador correspondiente por medio del aire primario utilizado en el pulverizador.

El quemador de carbón pulverizado estará diseñado y arreglado para cumplir los siguientes requerimientos:

- Completa consideración sobre la flexibilidad del quemador a la variación de las propiedades del carbón de diseño.
- Combustión estable y económica dentro del rango más amplio posible de salida de la caldera.

El Aceite Diesel se utilizará para combustible de arranque.

La caldera estará equipada con quemadores de aceite, de los cuales la salida podrá cumplir el requerimiento de arranque de caldera y para incrementar la temperatura de aire caliente para cumplir el requerimiento de arranque del pulverizador y para encender el carbón pulverizado exitosamente y que sea un quemado estable. (ver figura 14)

Sistema de Aire y Gases

El sistema de tiro está diseñado para la operación de tiro balanceado. El aire de combustión de los ventiladores de tiro forzado (FD) (2 x 50%) se calienta en los calentadores regenerativos de aire de tres sectores (2 x 50% de servicio) y es distribuido a la caja de viento del quemador como aire secundario.

El aire primario es tomado de la descarga ventilador de tiro forzado por los ventiladores de aire primario (PA) (2 x 50% de servicio) que proporcionan la presión requerida para pasar el aire primario a través del calentador regenerativo de aire y pulverizadores a los quemadores.

Una porción de aire de los ventiladores de aire primario pasa sin calentarse alrededor del calentador regenerativo de aire como aire primario de atemperación o frío. El aire caliente y el aire frío primarios se mezclan en cada pulverizador para obtener la temperatura de salida de mezcla de combustible – aire deseada del pulverizador.

El gas caliente del ducto de humos del hogar pasa a través del sobrecalentador, recalentador, economizador y el calentador regenerativo de aire.



Separador de Agua

A muy bajo rango de carga más bajo que aproximadamente 25% de carga nominal (carga de transferencia húmeda – seca) el flujo de paso sencillo no es suficiente para la seguridad de las paredes de agua del hogar.

Por lo tanto, en el rango de carga baja, el fluido a la entrada del separador es de flujo de dos fases (vapor y agua) que requiere el separador de vapor/agua, y el vapor separado va al sobrecalentador.

Sobrecalentador, Recalentador y Atemperadores

El sobrecalentador y el recalentador proporcionarán distribución uniforme de flujo y temperatura de vapor a cargas de operación. Se tendrán 3 sobrecalentadores y 2 recalentadores, además del economizador. (Ver figura 21)

Bases de Diseño del Generador de Vapor

Las bases de diseño del generador de vapor son como sigue:

Tipo	Tipo recalentamiento radiante de caldera de paso sencillo de operación de presión supercrítica
Número	Un (1) Juego
Capacidad (BMCR)	2,250 ton/hora
Presión de vapor principal en BMCR	25.1 MPa (Salida de sobrecalentador terciario)
Temperatura de vapor principal en BMCR	542 grados C (Salida de sobrecalentador terciario)
Temperatura de vapor de recalentamiento en BMCR	568 grados C (Salida de recalentador secundario)
Exceso de aire en BMCR	15 %
Combustible	Carbón Aceite Diesel para arranque y soporte
Sistema de arrastre	Arrastre balanceado



Bases de Diseño del Hogar

Dimensiones del hogar

Ancho del hogar	18,200 mm
Profundidad del Hogar	16,827 mm
Altura del hogar	62,600 mm
Volumen del hogar	16,607 m ³
Temperatura del gas de salida del hogar (Salida de sobrecalentador terciario)	1,040 °C



Caldera Supercrítica

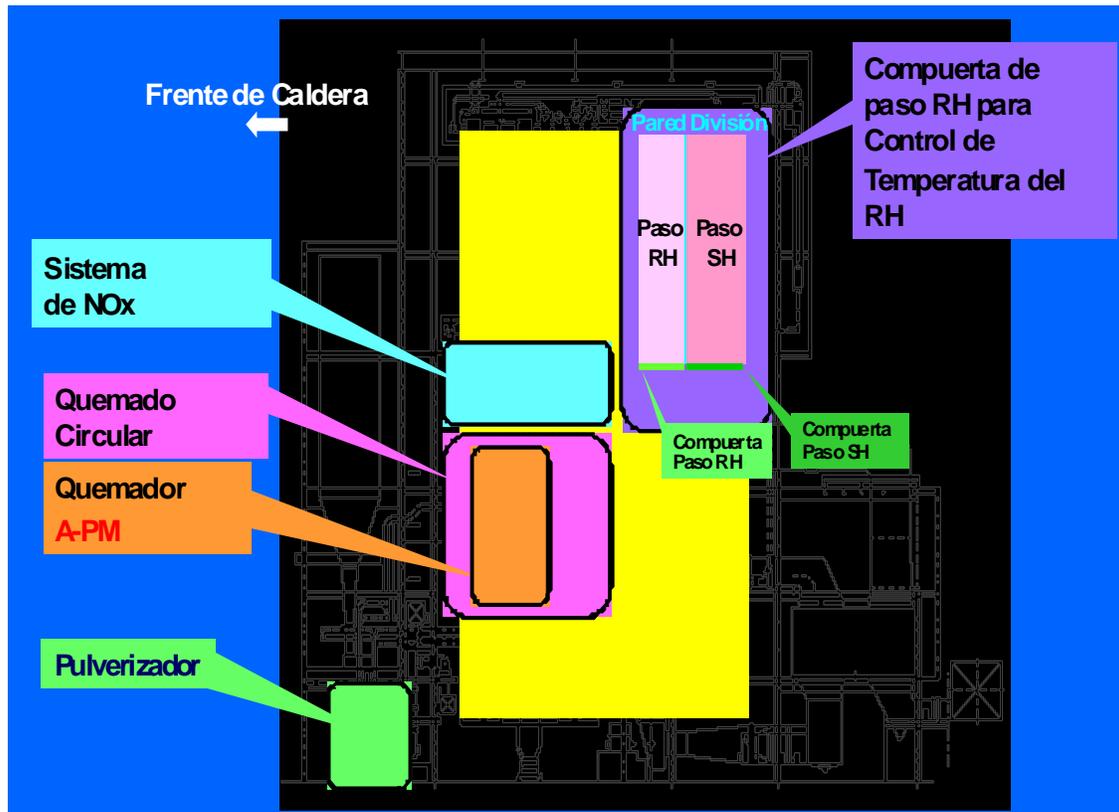


Figura 20.- Sistema de combustión



Caldera Supercrítica

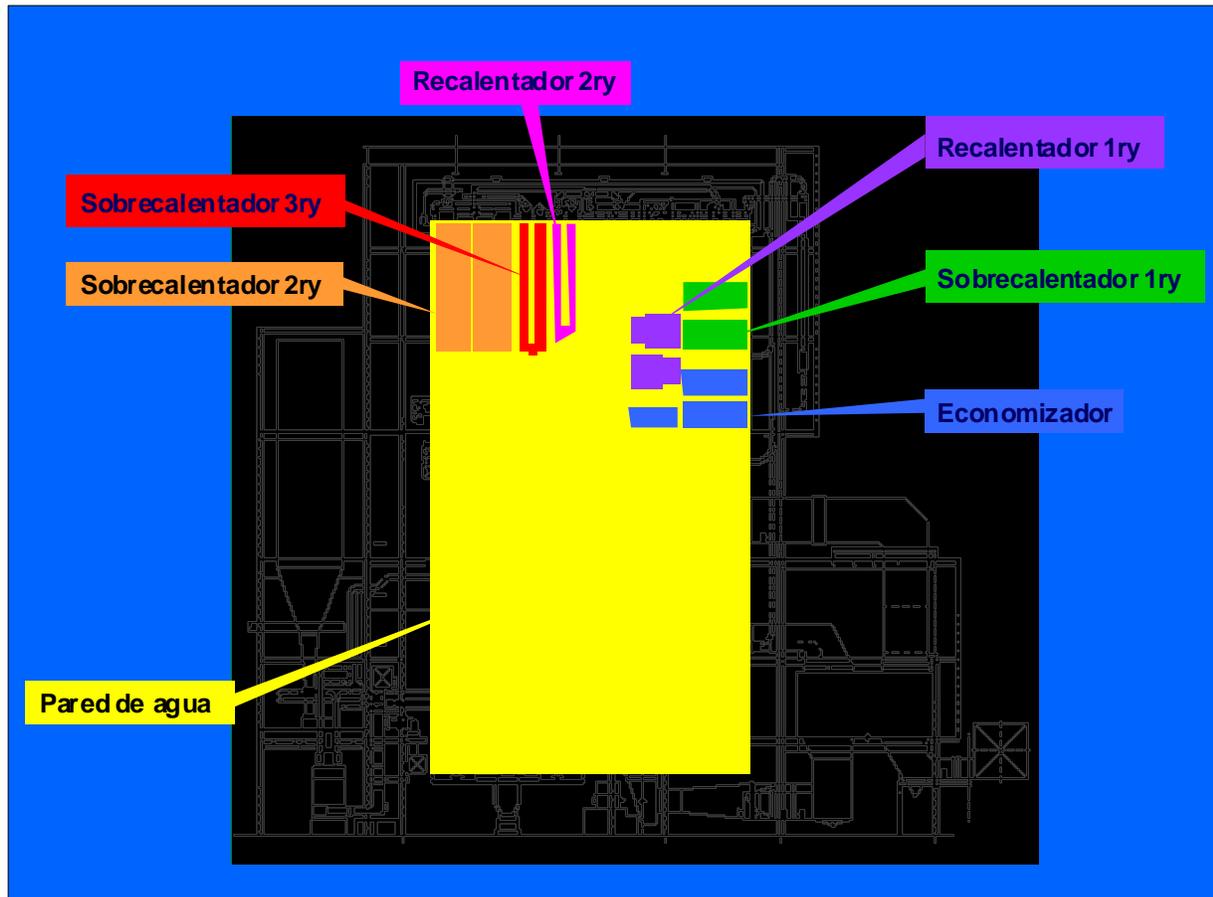


Figura 21.- Componentes principales de la Caldera



III.2.2 TURBINA DE VAPOR

Función del Sistema

La función de la turbina de vapor es generar electricidad con el Generador. El vapor principal y el vapor recalentado generado en la Caldera se utilizan para girar la turbina para la generación eléctrica.

Descripción del Sistema y sus Componentes

La unidad turbogeneradora es una turbina de tres cilindros, escape cuádruple de compuesto en tándem, de recalentamiento de condensado, que consiste de una turbina combinada de Alta presión – Presión intermedia y dos turbinas de baja presión de doble flujo. (Ver figuras 22 y 23)

Turbina combinada de AP – PI

La turbina de AP y la turbina de PI se combinan en un cilindro, formando así una turbina de vapor general compacta.

Aunque la turbina combinada de AP – PI se compone de un solo cilindro externo y un solo rotor, las partes internas de la turbina están compuestas de anillo de álabes, anillos de simulación y carcasa interna.

Estos componentes están separados unos de otros y soportados térmicamente en una manera flexible para reducir la distorsión térmica y el esfuerzo térmico.

Turbina de BP

La turbina de BP tiene construcción simétrica de doble flujo. El cilindro externo y el cilindro interno distribuyen la diferencia de temperatura entre la entrada y el condensador para no imponer el esfuerzo térmico y evitar la distorsión del cilindro. El uso de guías de flujo de escape tipo difusor y una configuración de la cubierta de escape grande minimiza la pérdida de escape.

Sistema de sello y drenaje

El sistema de sello proporciona vapor a la presión adecuada a los sellos de la turbina para evitar fuga de aire dentro, o de vapor, de los cilindros de la turbina a lo largo de los extremos del rotor. Además el sistema de drenaje recolecta los drenajes generados en varias partes de la turbina durante el arranque o paro.



Válvula de paro principal

La turbina tiene dos válvulas de paro principal idénticas para control de velocidad en el arranque, las cuales son accionadas por actuadores hidráulicos. Se proporciona un interruptor de prueba para el cierre suave de la válvula mientras la unidad está operando.

Válvula Gobernadora

La turbina tiene cuatro válvulas gobernadoras idénticas para el control de velocidad y carga, las cuales son controladas por actuadores hidráulicos individuales. La válvula de vapor es una válvula tipo tapón sellado de anillo montada sobre un vástago de válvula resaltado.

Condensador de vapor de sellos

La mezcla de vapor y aire que deja el sello exterior de la turbina es introducida a un condensador de vapor de sellos de tipo superficie. El condensador de vapor de sellos tendrá dos ventiladores de escape para descargar los gases no condensables a la atmósfera. El vapor que retome de los sellos de turbina de vapor (la entalpía es de 9.21×10^6 kJ/h) se condensará en el condensador de vapor de sellos y se drenará al condensador.

Sistema de Drenaje

La cosa más importante en la operación de la turbina es nunca introducir agua dentro de la turbina. El drenaje, el cual puede producirse en la turbina al arranque o carga baja, es dirigido al condensador u otro equipo a través de válvulas de drenaje las cuales se abrirán cuando operen abajo del 20% de carga.

Interfaces con Otros Sistemas

Vapor Principal

El vapor principal y recalentado se suministra a la caldera a través del sistema de vapor principal y vapor recalentado. El vapor recalentado de baja temperatura pasa a la caldera a través del sistema de vapor recalentado. El vapor de extracción de turbina pasa a los calentadores de agua de alimentación y turbinas de bomba de agua de alimentación de caldera a través de la tubería de vapor de extracción. El vapor de escape de la turbina pasa al sistema del condensador. (Ver figura 24)



Vapor de sellos y drenaje

El vapor de sellos se suministra de la línea de vapor principal o línea de vapor recalentado por medio del cabezal de vapor auxiliar. Principalmente durante el arranque, el vapor de sellos será alimentado de la línea de vapor principal y a carga alta cuando se establece la presión suficiente en la línea de vapor recalentado, el vapor será alimentado del cabezal de vapor auxiliar.

Parámetros Principales

- a) Tipo de turbina : Turbina de recalentamiento de condensado de escape cuádruple de compuesto Tándem
- b) Salida nominal : 678,360kW
- c) Velocidad nominal : 3600rpm
- d) Dirección de rotación : En sentido de las manecillas del reloj de la turbina de vapor al generador
- e) Presión de vapor principal : 24.7MPa
- f) Temperatura de vapor principal : 538 grados C
- g) Temperatura de vapor recalentado : 566 grados C
- h) Vacío de condensador: 11.1kPa abs.
- i) Altura del último álabe : 0.749 m



Turbina de vapor

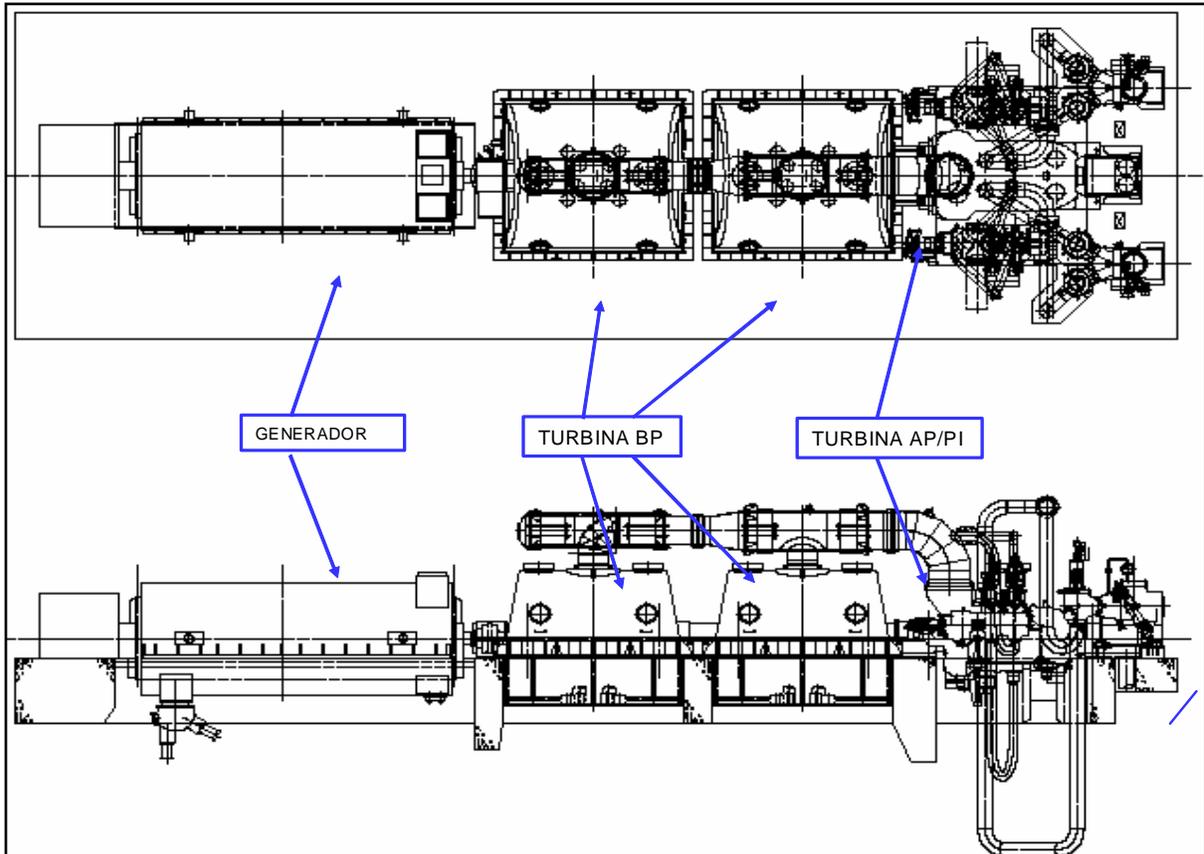


Figura 22.- Configuración de la Turbina de Vapor

...



Turbina de vapor

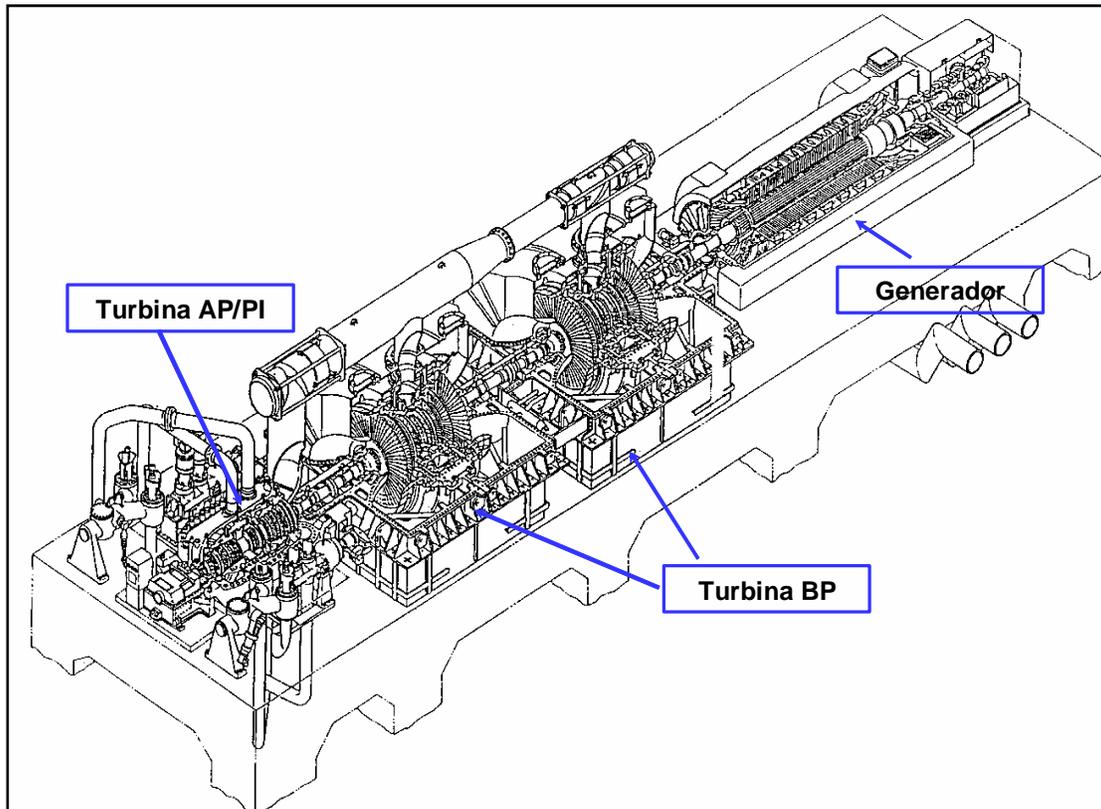


Figura 23.- Turbina de Vapor compuesta en Tandem



Turbina de Vapor

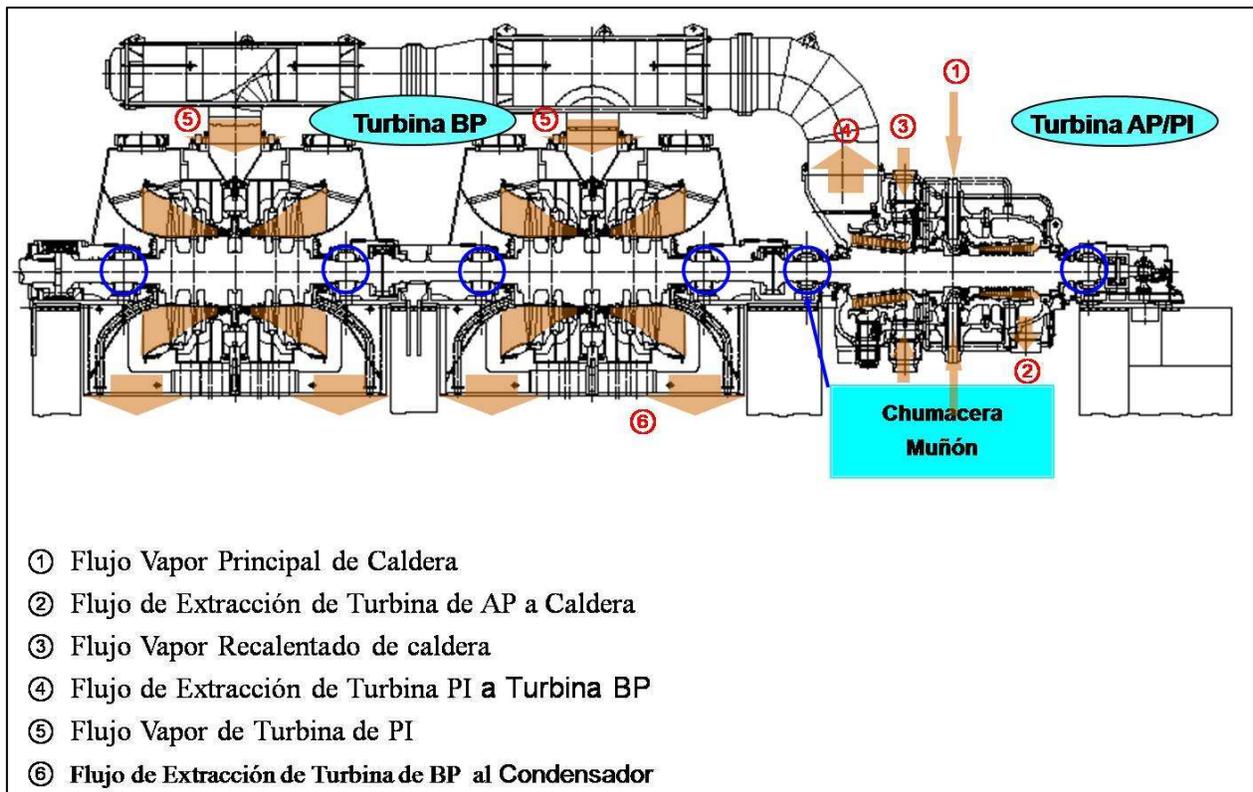


Figura 24.- Paso de vapor de componentes de la Turbina



II.2.3 SISTEMA DE CONDENSADO

Función del Sistema

La función principal de este sistema es condensar el vapor de escape de la turbina de BP y turbina de la bomba de agua de alimentación de caldera, y entregar el agua de condensado del pozo caliente del condensador al degasificador. La temperatura del agua de condensado se incrementa mientras pasa a través del condensador de vapor de sellos y calentadores de BP (Baja presión), que se dedican a incrementar la eficiencia del ciclo regenerativo.

Este sistema también incluye el sistema de suministro de agua de repuesto al ciclo. El agua desmineralizada almacenada en el tanque de almacenamiento de agua desmineralizada es transferida directamente al condensador o por medio del tanque de condensado cuando se requiere.

El agua de condensado también se utiliza como agua de sello para bombas y sellos de válvula, como agua de rocío para los atemperadores.

El sistema de suministro de agua de repuesto transporta el agua al generador de vapor (para el llenado inicial), el sistema de agua de enfriamiento de circuito cerrado y para la regeneración del sistema pulidor de condensado etc.

Descripción del Sistema

El sistema de condensado consiste de pozo caliente de condensador hasta la entrada del degasificador. Este sistema suministra agua al sistema de agua de alimentación. Cuando el nivel de agua del pozo caliente del condensador se vuelve bajo, el agua de repuesto será transferida del tanque de almacenamiento de agua desmineralizada. Hay dos bombas de condensado (dos (2) juegos x 100%, una en servicio y otra en reserva). El agua en el pozo caliente del condensador es transferida por la bomba de condensado al Degasificador, por medio del condensador de vapor de sellos, pulidor de condensado y calentadores de BP.

Hay cuatro etapas de calentadores de BP, dos juegos de calentadores de BP No.1/No.2 de tipo combinado ubicados en el cuello del condensador, un juego de calentador de BP No.3 y un juego de calentador de BP No.4.

Para el propósito de vacío de condensador, existirán (2) juegos de bombas de vacío. Cuando esté el modo de quebranto en la preparación del arranque, se operarán dos (2) bombas de vacío para hacer vacío en el condensador. Durante la operación normal



(modo de sostenimiento), el vacío del condensador se mantiene por la operación de una bomba de vacío.

Descripción de los Componentes

Condensador

El condensador será de un paso, presión sencilla con tanques de agua divididos, tubos rectos, soportados desde abajo. El condensador será diseñado y dimensionado basándose en la optimización del sistema de agua de circulación.

Bombas de Condensado

Habrán dos bombas centrífugas de condensado verticales con 100% de capacidad cada una para manejar el flujo de condensado desde el pozo caliente del condensador hasta el calentador del degasificador. Estas bombas serán accionadas por motores eléctricos.

Bomba de Vacío de Condensador

Existirán dos unidades de bomba de vacío de anillo líquido, capacidad completa, una etapa, selladas con agua y los accesorios para la remoción de aire del condensador.

Descripción de Operación

El vapor de escape de la turbina de baja presión es condensado en el condensador, que está bajo la condición de vacío, mantenido por la bomba de vacío.

La bomba de condensado será operada automáticamente para suministrar condensado del pozo caliente del condensador al degasificador.

Una línea de succión individual se instala del condensador a cada succión de bomba de condensado. Una bomba está en operación normal mientras que la otra bomba permanece en reserva. Si la bomba en servicio falla, la bomba en reserva se pondrá automáticamente en operación.

Las tuberías de descarga de las dos bombas de condensado se unen en un cabezal común que llega al condensador de vapor de sellos. De este sistema, las tuberías son ramificadas para servir lo siguiente.

- (a) Rocío de válvula de derivación de turbina BP
- (b) Rocío de cortina del condensador



- (c) Rocío de escape de turbina de BP
- (d) Sistema de sello de turbina (rocío de desobrecalentador)
- (e) Dilución para sistema de inyección de químicos
- (f) Sello de válvula, Agua de sello de bomba de alimentación de caldera
- (g) Línea de derrame (a tubería de expansión de caldera)
- (h) Línea de flujo mínimo al condensador

Para el propósito de repuesto del agua de ciclo, el agua almacenada en el tanque de almacenamiento de agua desmineralizada será transferida directamente o por medio del tanque de condensado. En esta línea, se instala un medidor de flujo para medir la cantidad de agua de repuesto suministrada al ciclo.

Después del condensador de vapor de sellos, el agua de condensado será transferida al Degasificador por medio del calentador de BP (de No.1 a No.4). Los calentadores de BP tipo combinado No.1 y No.2 se proporcionan en el cuello del condensador como dos montantes y seguidos por montante sencillo de los calentadores de BP No.3 y No.4. Para cada par de calentadores (un par como calentadores de BP No.1 y No.2, y otro par como calentadores No.3 y No.4), hay una línea de derivación de condensado con válvula motorizada y válvulas de cierre accionadas por motor.



III.2.4 SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN, Y SISTEMA DE DRENAJE DE CALENTADOR Y VAPOR DE EXTRACCIÓN

Función del Sistema

La función principal de este sistema es entregar el flujo continuo de agua de alimentación requerido por el generador de vapor, a cualquier carga o condición transitoria considerando los requerimientos de flujo y presión del sistema de agua de alimentación.

Descripción del Sistema

El sistema comienza desde el tanque de almacenamiento del desgasificador hasta la entrada del economizador. Este sistema suministra agua de alta presión al generador de vapor. Hay bombas principales de agua de alimentación de caldera de 60% de capacidad cada una accionada por la turbina de vapor (T-BFP) y una bomba de agua de alimentación de caldera accionada por motor (M-BFP) de 30% de capacidad, principalmente para el arranque. El agua de alimentación en el tanque de almacenamiento del desgasificador es transferida al generador de vapor por las bombas de agua de alimentación de caldera por medio de los calentadores de AP. El agua de rocío de la derivación de turbina de AP se suministra desde la salida de la Bomba de Agua de alimentación. El agua de rocío del Sobrecalentador se suministra desde el cabezal de salida del economizador y el agua de rocío del recalentador será extraída de la Inter-Etapa de las Bombas Alimentación de caldera.

Hay tres (3) etapas de calentadores de AP. Se proporcionan dos juegos de calentadores No.6 de AP, calentadores No.7 de AP y calentadores No.8 de AP en dos trenes.

Descripción de los componentes

Bomba de Agua de Alimentación

Habrà tres (3) bombas centrifugas, horizontales, multietapas, de velocidad variable (una bomba accionada por motor y dos bombas accionadas por turbina). Habrà dos (2) bombas de 60% de capacidad cada una accionadas por una turbina de vapor y una bomba de arranque y de reserva de 30% de capacidad accionada por un motor eléctrico. El flujo de la Bomba de Alimentación de caldera accionada por Turbina se regulará controlando la velocidad de la turbina de vapor. En el caso de la bomba de alimentación de caldera accionada por motor, el flujo de agua de alimentación será regulado por una válvula de control neumático ubicada en la descarga de la bomba y un



variador de velocidad hidráulico. Cada bomba se proporcionará con un sistema de recirculación de flujo mínimo. Al agua de rocío a los desobrecalentadores del recalentador se suministra desde la etapa intermedia de las bombas principales.

Calentadores de AP No.6, No.7 y No.8

Los calentadores de alta presión son de construcción tipo horizontal, de casco y tubo en "U". Cada calentador de agua de alimentación de AP tendrá tres zonas, llamadas zonas de desobrecalentamiento, condensación y subenfriamiento.

Desgasificador

El Desgasificador es de tipo combinado con tanque de almacenamiento y calentador (calentador de Desgasificador integrado en el tanque de almacenamiento) o, tipo separado.

El calentador del Desgasificador será tipo horizontal, de bastidor con rociadores, con la capacidad para suministrar continuamente agua desgasificada desde la descarga mínima hasta la máxima, con un contenido de oxígeno residual que no excede 0.005 cc/l. El vapor de calentamiento al Desgasificador se suministra del escape de la turbina de presión intermedia o del sistema de vapor auxiliar durante el arranque o la línea de vapor recalentado de baja temperatura el caso de rechazo de carga de la unidad.

EXTRACCIONES, DRENAJES Y VENTEOS DE LOS CALENTADORES DE ALTA Y BAJA PRESIÓN

Función del sistema

La función del sistema de extracción de vapor es dirigir el vapor de extracción de la turbina de vapor a los calentadores de agua de alimentación, y turbinas de accionamiento de bomba de agua de alimentación. El vapor de extracción se utiliza para calentar el agua de alimentación que fluye a través de los calentadores, mejorando así la eficiencia general de la planta.

Este ciclo incluye las siguientes etapas de calentamiento de agua de alimentación:

- Vapor de extracción de Baja Presión al calentador de BP No.1, 2, 3 y 4
- Vapor de extracción de Presión Intermedia al desgasificador y calentador de AP No.6
- Vapor recalentado de baja temperatura a calentador de AP No.7



- Vapor de extracción de alta presión a calentador de AP No.8

La función del sistema de drenaje del calentador es recuperar la máxima cantidad de calor del vapor de extracción de turbina y proporcionar control de nivel del calentador.

La función del sistema de venteo del calentador es remover los gases no condensables de los calentadores.

Descripción del sistema y sus componentes

Sistema de vapor de Extracción

Todas las líneas de extracción tendrán válvulas de no retorno operadas hidráulicamente y válvulas de cierre accionadas por motor, con excepción de las líneas de extracción conectadas al calentador de BP No. 1 y No. 2, montadas en el cuello del condensador, que no tendrá válvulas de no retorno y válvulas de cierre accionadas por motor de acuerdo con las recomendaciones de ANSI/ASME No. TDP-1: "Prácticas Recomendadas para la Prevención de Daños por Agua a las Turbinas de Vapor Utilizadas para Generación de Energía Eléctrica." Adicionalmente se proporcionará en la línea de extracción conectada al desgasificador una válvula de no retorno operada hidráulicamente.

La turbina de accionamiento de bomba de agua de alimentación de caldera (BFPT) es operada por dos tipos de fuentes de vapor. El vapor de extracción de turbina de PI se suministrará a la turbina de accionamiento de bomba de agua de alimentación de caldera en operación normal y el vapor principal se utilizará como vapor de respaldo durante la operación de FCB. El vapor de escape de la turbina de accionamiento de bomba de agua de alimentación de caldera está conectado al condensador.

Sistema de venteos y drenajes del calentador

Los drenajes de los calentadores de agua de alimentación de AP se pondrán en cascada normalmente al calentador subsecuente y finalmente se pondrán en cascada al desgasificador. De forma similar, los drenajes del calentador de BP estarán en cascada al calentador subsecuente, y finalmente se enviarán dentro del condensador. Las líneas de drenaje de emergencia de todos los calentadores se conectan al condensador. Cada drenaje del calentador será controlado por una válvula de control ubicada en la línea de drenaje tan cerca como sea posible del calentador subsecuente, activada por un control de nivel montado en el calentador anterior, para mantener el nivel de operación normal. Las líneas de drenaje están arregladas de tal manera que al quitar uno o más calentadores de servicio, los otros calentadores pueden permanecer



en servicio descargando el drenaje al condensador directamente utilizando las líneas de drenaje de emergencia. Este arreglo evitará la entrada de agua dentro de la turbina.

Descripción de Operación. Sistema de Vapor de extracción (Operación normal).

El Desgasificador es un calentador de contacto directo, que remueve los gases no condensables del condensado y drenajes del calentador de AP entrando al desgasificador. Los calentadores de agua de alimentación restantes son de tipo tubo y casco cerrados con agua de alimentación fluyendo a través de los tubos y vapor de extracción condensado y drenajes subenfriados en los cascos.

Las líneas de vapor de extracción a cada calentador de agua de alimentación, con la excepción de los calentadores de agua de alimentación de BP No.1 y No.2, que están ubicados en el cuello de escape del condensador, incluyen una válvula de cierre operada por motor, válvula de retención, y drenajes de punto bajo.

Las líneas de drenaje con válvulas operadas por energía se proporcionan en puntos bajos en la tubería de vapor de extracción a los calentadores. Durante la operación normal, las válvulas de drenaje se cierran, pero se abrirán por el control secuencial.

Sistema de drenajes y venteos del calentador (Operación Normal)

Los flujos de drenaje normales del calentador son como sigue:

- El drenaje del calentador de AP No.8 hace cascada al calentador de AP No.7
- El drenaje del calentador de AP No.7 hace cascada al calentador de AP No.6
- El drenaje del calentador de AP No.6 hace cascada al desgasificador
- El drenaje del calentador de BP No.4 hace cascada al calentador de BP No.3
- El drenaje del calentador de BP No.3 hace cascada al calentador de BP No.2
- El drenaje del calentador de BP No.2 hace cascada al calentador de BP No.1
- Drenaje del calentador de BP No.1 conectado al condensador

Cada flujo de drenaje del calentador estará controlado por la válvula operada neumáticamente.



III.2.5 PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO

Características Generales

El precipitador electrostático está diseñado para cumplir con la emisión máxima de 110 mg / m³, (en referencia a 5 % de O₂, 25 grados C en base seca y 1 atmósfera) desde 60 a 100 % de carga con quemado de carbón A, B y mezcla de carbón A y carbón B.

Velocidad de los gases

Los ductos de gases estarán dimensionados de manera que la velocidad del fluido no exceda de 15 m/s, salvo que se tenga la necesidad de aumentarla para evitar el asentamiento de la ceniza en los ductos.

Presión

Las paredes exteriores del precipitador, techos, partes internas, tolvas y ductos, estarán diseñados para soportar una presión diferencial de más de 4.9 kPa y menos de 6.22 kPa sin deformación permanente.

Caída de presión

La máxima caída de presión por el lado gases, desde la salida del calentador regenerativo de aire hasta la entrada del ventilador de tiro inducido no será mayor de 0,43 kPa para cualquier condición de operación.



III.2.6 SISTEMA DE VAPOR PRINCIPAL, VAPOR RECALENTADO Y DERIVACIÓN DE TURBINA

Sistema de Vapor Principal

Función del Sistema

La función del sistema de vapor principal es dirigir el vapor de alta temperatura y alta presión de la salida del sobrecalentador de caldera a la turbina de alta presión.

Descripción del Sistema

Los componentes en este sistema incluyen tubería de vapor principal, válvulas de seguridad, válvulas de alivio accionadas por energía, y líneas de drenaje de calentamiento.

Descripción de los Componentes Principales

(1) Tubería de vapor principal

Hay dos tuberías de vapor principal desde el sobrecalentador de caldera y una tubería de interconexión para igualar la presión. La tubería de derivación de turbina de Alta Presión (AP) se conecta a la tubería de interconexión.

(2) Válvula de alivio de seguridad y válvulas de alivio accionadas por energía

(3) Línea de drenaje de vapor principal

La línea de drenaje de calentamiento se proporciona en la tubería de vapor principal cerca de la entrada de la válvula de paro de vapor principal de la turbina. La línea de drenaje contiene válvula de drenaje operada por motor. El drenaje de calentamiento desde la tubería de vapor principal será desobrecalentado por el desobrecalentador y enrutado al condensador.

Descripción de Operación (Operación Normal)

El vapor principal ingresa a la turbina de alta presión a través de la tubería de vapor principal.



Durante el arranque de la unidad, la válvula de drenaje de vapor principal se abrirá para calentar el vapor principal.

Sistema de Vapor Recalentado

Función del Sistema

La función del sistema de vapor recalentado es mejorar la eficiencia general de la planta incrementando la energía de vapor que una vez fluyó a través y ha escapado de la sección de AP de la turbina.

Descripción del Sistema y sus Componentes

El sistema de vapor recalentado incluye tubería de recalentado frío y caliente. El vapor del escape de la turbina de AP fluye a través de la tubería de recalentado frío a la entrada del recalentador de la caldera. En el recalentador, el vapor es calentado de nuevo y luego dirigido a la turbina de PI a través de la tubería de recalentado caliente.

El vapor para el vapor auxiliar y calentador de agua de alimentación No.7 es extraído de la tubería de recalentado frío.

Descripción de los Componentes Principales

(1) Tubería de recalentado frío

Hay dos tuberías de recalentado frío y una tubería de interconexión.

Una línea de drenaje estará instalada en el punto bajo de cada línea de recalentado frío. La línea de drenaje se instala al agua de drenaje y para evitar que sea inducida dentro de la turbina. La línea de drenaje es dirigida al múltiple de drenaje del condensador. La línea de drenaje contiene una válvula neumática de drenaje, que es controlada secuencialmente con la carga de la unidad y el nivel detectado por interruptores de nivel en la fosa de drenaje. El agua de rocío para el atemperador del recalentador se obtiene de las boquillas de sangrado interetapas de las bombas de agua de alimentación de caldera.

(2) Tubería de recalentado caliente

La tubería de recalentado caliente consiste de las siguientes secciones:



- Desde la salida del recalentador a la confluencia: Dos tuberías de recalentado caliente
- Desde la confluencia anterior a la divergencia: Una tubería de recalentado caliente
- Desde la divergencia anterior a la entrada de la turbina de PI: Dos tuberías de recalentado caliente.

El vapor recalentado caliente ingresa a la turbina de PI a través de dos líneas de vapor. Cada línea contiene una válvula de paro de recalentado y una válvula interceptora en la entrada de la turbina de PI.

Durante la operación normal, el vapor es admitido a través de la válvula de paro e interceptora, para accionar la turbina de PI. Una línea de drenaje está instalada en el punto bajo de la tubería de recalentado caliente cerca de la entrada de la turbina de PI.

La línea de drenaje es dirigida al múltiple de drenaje del condensador y contiene una válvula de drenaje operada por motor, la cual es controlada secuencialmente con la carga de la unidad.

Descripción de Operación (Operación Normal)

El vapor del escape de la turbina de AP fluye a través de la tubería de recalentado frío a la entrada del recalentador de caldera. En el recalentador, el vapor es calentado de nuevo y luego dirigido a la turbina de PI a través de la tubería de recalentado caliente.

Durante el arranque de la unidad, las válvulas de drenaje de la tubería de recalentado frío / caliente se abrirán para calentar la tubería de recalentado frío / caliente.



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**



CAPÍTULO IV
ESTUDIO TÉCNICO- ECONÓMICO ENTRE LA
C.T. PDTE. PLUTARCO ELÍAS CALLES (PETACALCO) Y LA C.C.E. PACÍFICO



IV.1.- DESARROLLO

Este Estudio Técnico - Económico, simplifica a grandes rasgos la diferencia entre la implementación de una Central Carboeléctrica de Presión Supercrítica de Encendido de Carbón con referencia una Central Carboeléctrica de Presión Subcrítica, ambas operando a bajo condiciones similares de operación.

Para el mejor manejo de la información recopilada y de los resultados obtenidos se dividió dicho estudio, primero se realizó el Estudio Técnico y posteriormente el Estudio Económico.

El Estudio Técnico se realizó a partir de los Balances Térmicos de las dos centrales a comparar, por una parte la C.T. Pdte. Plutarco Elías Calles, (Petacalco) (1 x 350 MW) y por otra la C.C.E. Pacífico (1 x 651 MW), dichos balances están bajo las condiciones de 100% de carga y con servicios.

Cabe destacar que la diferencia de capacidad entre las dos centrales a comparar (1 x 350) y (1 x 651) MW, no repercute en los resultados, puesto que éstos son valores unitarios.

Partiendo de esto, primero se obtuvo para cada Balance Térmico, el Balance de Energía, donde se obtuvieron el calor suministrado a la caldera y el calor rechazado en el condensador, también se obtuvieron los trabajos realizados por las turbinas así como el trabajo realizado por las bombas. Posteriormente se realizó el Balance de Exergía para cada equipo en ambos Balances Térmicos. Después se obtuvo cada una de las eficiencias.

Se elaboró el ciclo termodinámico representándolo en un Diagrama T – S, para visualizar mejor las condiciones de operación de las dos centrales.

Los cálculos se realizaron considerando que el balance de masas se encuentra explícitamente en cada uno de los Balances Térmicos.

La información técnica, así como los resultados obtenidos en los Balances de Energía y de Exergía sirvieron para realizar las conclusiones finales.

La segunda parte de este apartado es el Estudio Económico, dicho estudio se realizó a partir de información recopilada en el COPAR 2006 de Generación de CFE (Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión en el Sector



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**



Eléctrico), que es una base de información para la evaluación económica de proyectos y tecnologías del sector eléctrico.

En el Estudio Económico a diferencia del Estudio Técnico, se realizó considerando para la C.T. Pdte. Plutarco Elías Calles (Petacalco), 2 unidades de 350 MW (2 x 350 MW) y para la C.C.E. Pacífico 1 unidad de 651 MW (1x 651 MW).

En el Estudio Económico básicamente se aplicó a cada Central los principales Métodos de Evaluación Económica y con los resultados obtenidos sabremos cual de las dos Centrales es económicamente mas factible, lo cual sirvió para realizar las conclusiones finales.



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**



**IV.2.- ESTUDIO TÉCNICO:
BALANCE ENERGÉTICO Y EXERGÉTICO DE LA
C.T. PDTE. PLUTARCO ELÍAS CALLES (PETACALCO) (1 X 350 MW)**



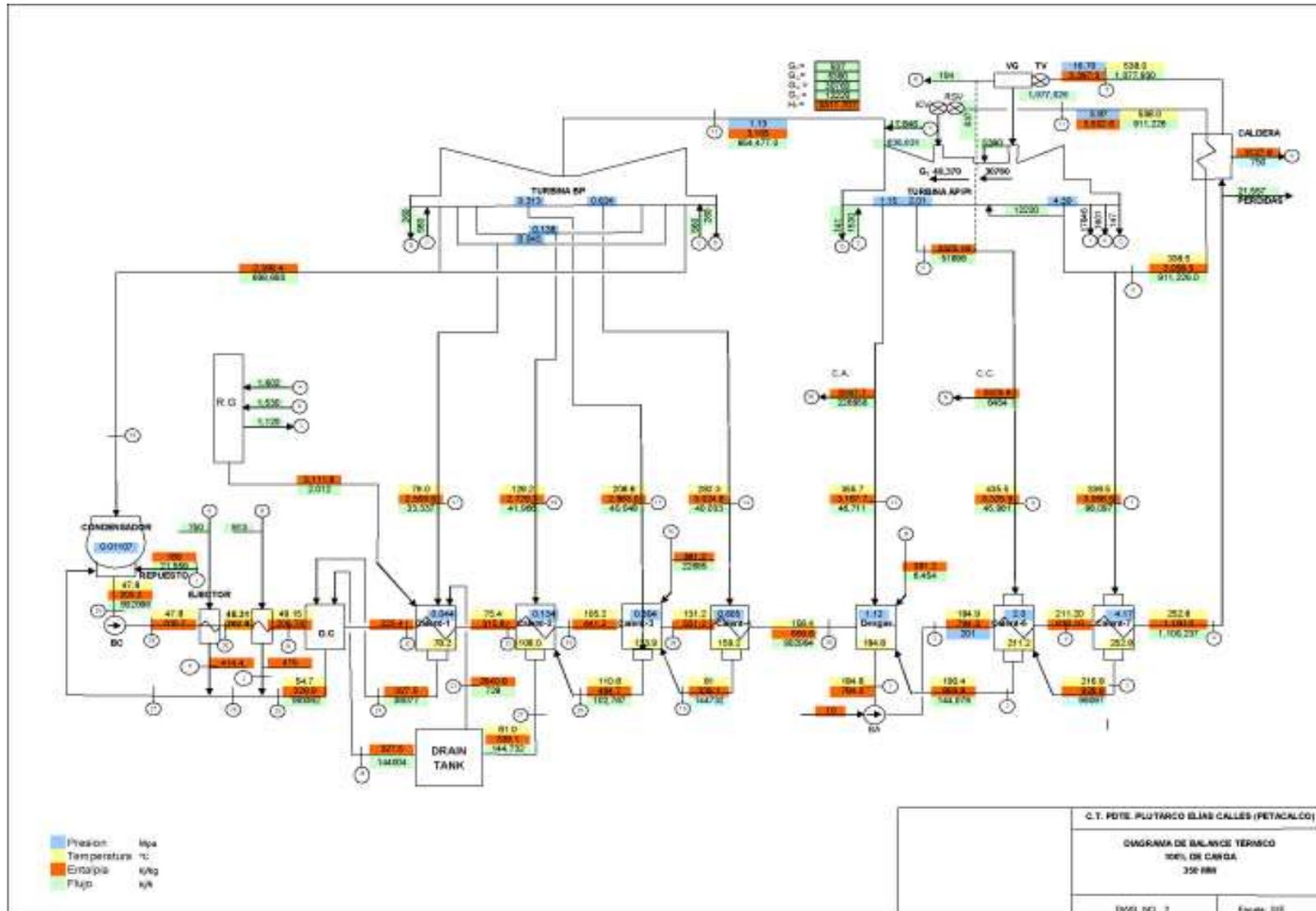
**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**



IV.2.1.-BALANCE TÉRMICO DEL VAPOR A 100 % CARGA



ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS DE OPERACIÓN





**IV.2.2.- TABLA DE PROPIEDADES DEL BALANCE TÉRMICO DE LA
C.T. PDTE. PLUTARCO ELÍAS CALLES (PETACALCO)**

Punto	Flujo (G) [kg/h]	Presión (P) [Mpa]	Temp. (T) °C	Calidad X	Entalpía (H) [kJ/kg]	Entropía (S) [kJ/kg°C]	Exergía (b) [kJ/kg]
1	1,100,237.0000	1.1182	184.8000	Lin. Liq. sat.	784.3000	2.1859	137.2170
2	1,100,237.0000	1.1207	184.9000	Lin. Liq. sat.	794.3000	2.1869	146.9301
3	1,100,237.0000	1.9536	211.2000	Lin. Liq. sat.	910.1000	2.4360	188.4580
4	1,100,237.0000	4.1674	252.8000	Lin. Liq. sat.	1,100.0000	2.8190	264.1691
5	1,077,930.0000	16.7000	538.0000	1.0000	3,397.3000	6.4151	1,489.2717
6	911,226.0000	4.3000	338.5000	1.0000	3,058.5000	6.4943	1,126.8770
7	98,097.0000	4.3000	338.5000	1.0000	3,058.5000	6.4943	1,126.8770
8	98,097.0000	2.1807	216.8000	Lin. Liq. sat.	928.8000	2.4881	191.6076
9	45,981.0000	2.0100	435.5000	1.0000	3,325.9000	7.2394	1,172.1119
10	144,079.0000	1.2661	190.4000	Lin. Liq. sat.	809.5000	2.2396	146.4045
11	911,226.0000	3.8700	538.0000	1.0000	3,532.6000	7.2181	1,385.1678
12	46,711.0000	1.1500	355.7000	1.0000	3,167.7000	7.2542	1,009.5141
13	854,477.0000	1.1300	354.6100	1.0000	3,165.3971	7.2590	1,005.7629
14	40,033.0000	0.6240	282.3000	1.0000	3,024.8000	7.2897	856.0221
15	40,048.0000	0.3130	208.8000	1.0000	2,883.0000	7.3305	702.0643
16	41,966.0000	0.1380	128.2000	1.0000	2,729.3000	7.3534	541.5161
17	33,337.0000	0.0454	78.9600	0.9648	2,559.9000	7.3943	359.9320
18	699,693.0000	0.0111	47.6786	0.9175	2,390.4000	7.5013	158.5213
19	40,033.0000	0.3290	136.7000	Lin. Liq. sat.	574.9000	1.7050	71.2025
20	102,767.0000	0.1473	110.8000	Lin. Liq. sat.	464.7000	1.4275	43.7359
21	144,732.0000	0.0494	81.0000	Lin. Liq. sat.	339.1000	1.0873	19.5773
22	728.0000	0.0440	63.0700	Lin. Liq. sat.	264.0007	0.8696	9.3746
23	36,077.0000	0.0441	78.2340	Lin. Liq. sat.	327.5000	1.0544	17.7839
24	144,004.0000	0.0441	78.2340	Lin. Liq. sat.	327.5000	1.0544	17.7839
25	180,082.0000	0.0155	54.7000	Lin. Liq. sat.	228.9000	0.7642	5.7097
26	180,995.0000	0.0157	54.9040	Lin. Liq. sat.	229.8300	0.7668	5.8643
27	181,745.0000	0.0158	55.0800	Lin. Liq. sat.	230.5900	0.7690	5.9557
28	902,996.0000	0.0111	47.8300	Lin. Liq. sat.	200.2000	0.6756	3.4022
29	902,996.0000	0.0110	47.7700	Lin. Liq. sat.	200.7000	0.6749	4.1352
30	902,996.0000	0.0114	48.3100	Lin. Liq. sat.	202.9000	0.6819	4.2402
31	902,996.0000	0.0118	49.1500	Lin. Liq.	205.7000	0.6928	3.7883



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**



Punto	Flujo (G) [kg/h]	Presión (P) [Mpa]	Temp. (T) °C	Calidad X	Entalpía (H) [kJ/kg]	Entropía (S) [kJ/kg°C]	Exergía (b) [kJ/kg]
				sat.			
32	902,996.0000	0.0149	53.8400	Lin. Liq. sat.	225.4000	0.7532	5.4837
33	902,996.0000	0.0392	75.4000	Lin. Liq. sat.	315.8000	1.0204	16.2067
34	902,996.0000	0.1217	105.2000	Lin. Liq. sat.	441.2000	1.3654	38.7484
35	902,996.0000	0.2801	131.2000	Lin. Liq. sat.	551.2000	1.6473	64.6996
36	902,994.0000	0.5636	156.4000	Lin. Liq. sat.	659.8000	1.9067	95.9649
G	750.0000	0.0111	325.3400	1.0000	3,127.6065	9.3214	353.0874
D	1,530.0000	0.0441	345.5000	1.0000	3,167.7409	8.7513	563.1731
H	750.0000		47.9000	0.0896	414.4000	1.3426	18.7414
A	1,602.0000	0.0441	291.3100	1.0000	3,058.5040	8.5666	509.0246
B	913.0000	0.0111	353.3500	1.0000	3,184.3329	9.4140	382.1967
C	1,120.0000	0.0111	311.3200	1.0000	3,099.3966	9.2737	339.0980
I	913.0000	0.0111	47.9000	0.0898	415.0000	1.3445	18.7842
M	22,685.0000	0.3040	91.1600	Liq. Comp.	381.8495	1.2061	26.9028
N	6,454.0000	1.1200	91.1600	Liq. Comp.	381.8495	1.2061	26.9028
F	2,012.0000	0.0440	317.8550	1.0000	3,111.7987	8.6595	534.6242
J	21,559.0000	0.0861	42.9789	Lin. Liq. sat.	180.0000	0.6120	2.1766
V	3,325.1600	2.0100	435.0850	1.0000	3,325.1599	7.2381	1,171.7553
T	48,370.0000	3.8700	440.8530	1.0000	3,311.7093	6.4151	1,403.6896
X	17,846.0000	1.1300	304.7400	1.0000	3,058.5001	7.4151	852.3304
AER		0.1013	25.0000	Lin. Liq. sat.	104.8384	0.3673	0.0000



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**



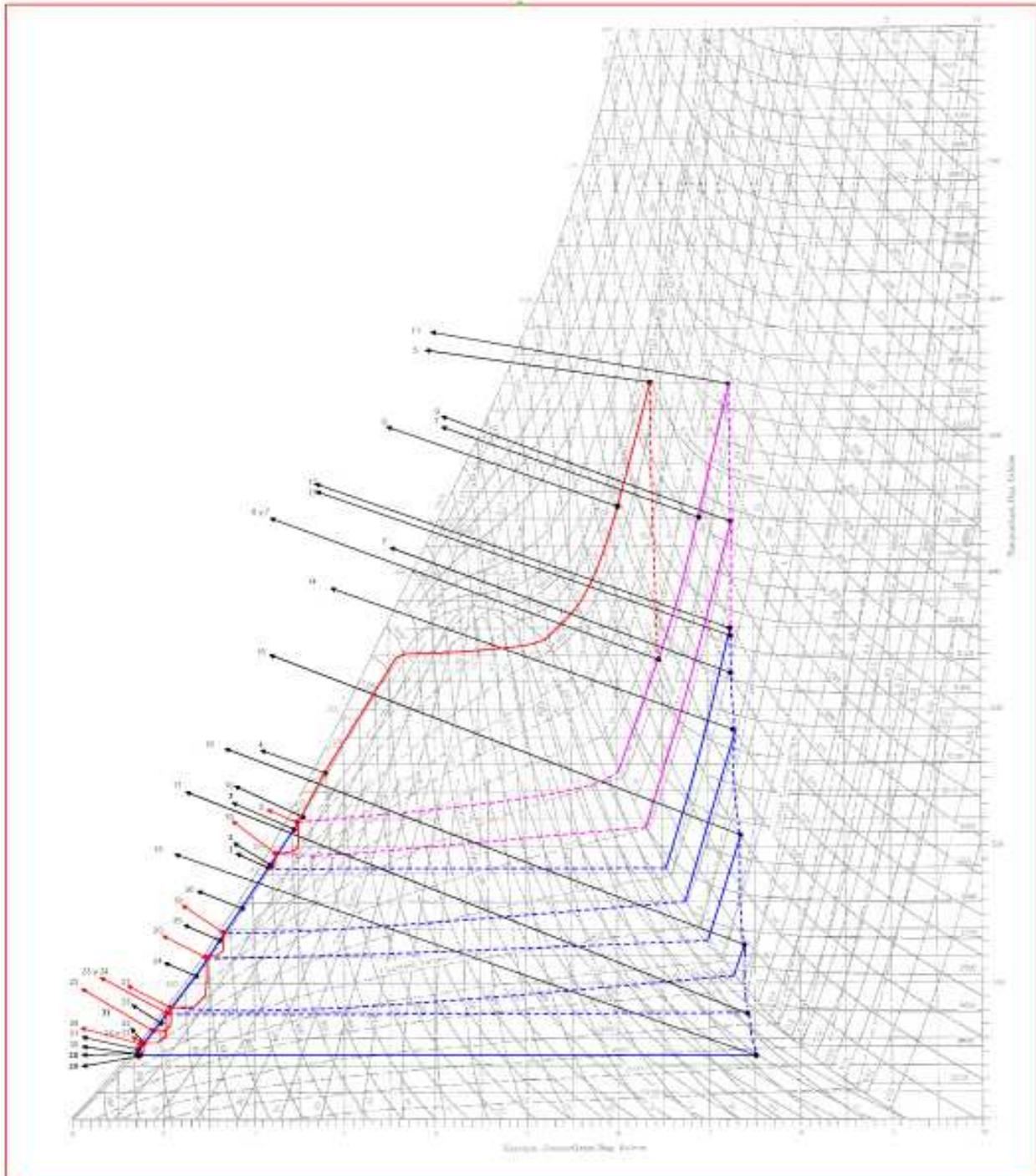
**IV.2.3.- DIAGRAMA T - S DE LA
C.T. PDTE. PLUTARCO ELÍAS CALLES (PETACALCO)**



ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN



DIAGRAMA T-S
C.T. PLUTARCO ELIAS CALLES (PETACALCO)
350 MW





IV.2.4.- MEMORIA DE CÁLCULO: BALANCE DE ENERGÍA

CÁLCULO DE TRABAJOS, CALORES Y EFICIENCIAS

TURBINA DE BAJA PRESIÓN (BP)

TRABAJO TOTAL DE LA TURBINA DE BP

$$W_{BP} = \sum_{P=0.624}^{P=0.01107} W_{BP} = W_{BP P=0.624} + W_{BP P=0.31} + W_{BP-1 P=0.138} + W_{BP P=0.04542} + W_{BP P=0.01107} \dots\dots\dots(1)$$

Donde P = presión

$$W_{BP P=0.624} = \left[(H_{13} - H_{14}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{13}}{2} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] \dots\dots\dots(2)$$

$$W_{BP P=0.313} = \left[(H_{13} - H_{15}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{13}}{2} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] \dots\dots\dots(3)$$

$$W_{BP P=0.138} = \left[(H_{15} - H_{16}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{13}}{2} - G_{15} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] + \left[(H_{14} - H_{16}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{13}}{2} - G_{14} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] \dots\dots\dots(4)$$

$$W_{BP P=0.04542} = \left[(H_{16} - H_{17}) kJ / kg \times (G_{13} - G_{14} - G_{15} - G_{16}) kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] \dots\dots\dots(5)$$

$$W_{BP P=0.01107} = \left[(H_{17} - H_{18}) kJ / kg \times (G_{18}) kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] \dots\dots\dots(6)$$

TURBINA DE ALTA PRESIÓN Y PRESIÓN INTERMEDIA (AP/PI)

TRABAJO TOTAL DE LA TURBINA DE AP/PI

$$W_{AP / PI} = W_{AP P=4.3} + W_{PI P=2.1} + W_{PI P=1.15} \dots\dots\dots(7)$$

$$W_{AP P=4.3} = \left[(H_5 - H_6) kJ / kg \times (G_5 - G_B - G_P - G_Q - G_R) kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] \dots\dots\dots(8)$$



$$W_{PI P=2.01} = \left[((H_{11})kJ / kg \times (G_{11})kg + (H_T)kJ / kg \times (G_T)kg / h) \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW]$$

$$- \left[((H_V)kJ / kg \times (G_{11} + G_T))kJ / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] \dots\dots\dots (9)$$

$$W_{PI P=1.15} = \left[(H_V - H_{12})kJ / kg \times (G_{11} + G_T - G_V)kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] \dots\dots\dots (10)$$

TRABAJO BRUTO EN LA TURBINA (W_{BRUTO})

$$W_{BRUTO} = W_{AP/PI} + W_{BP} \dots\dots\dots (11)$$

BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN (BAA)

$$W_{BAA} = \left[(H_2 - H_1)kJ / kg \times (G_4)kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] \dots\dots\dots (12)$$

BOMBA DE CONDENSADO (BC)

$$W_{BC} = \left[(H_{29} - H_{28})kJ / kg \times (G_{28})kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] \dots\dots\dots (13)$$

TRABAJO TOTAL DE BOMBAS

$$W_{BT} = W_{BAA} + W_{BC} \dots\dots\dots (14)$$

TRABAJO NETO

$$W_{NET} = W_{BRUTO} - W_{BT} \dots\dots\dots (15)$$

CALOR SUMINISTRADO A LA CALDERA

$$Q_{SUM} = \left[((H_{11} - H_6)kJ / kg \times (G_6)kg / h - (H_4)kJ / kg \times (G_4 - Perdida)kg / h) \times \frac{1 h}{3600 s} \right]$$

$$+ \left[((H_G)kJ / kg \times (G_G)kg / h + (H_5)kJ / kg \times (G_5)kg / h) \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] \dots\dots (16)$$



CALOR RECHAZADO EN EL CONDENSADOR

$$Q_R = \left[[(H_{18}) kJ / kg \times (G_{18}) kg / h + (H_{27}) kJ / kg \times (G_{27}) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] \\ + \left[[(H_J) kJ / kg \times (G_J) kg / h - (H_{28}) kJ / kg \times (G_{28}) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots (17)$$

EFICIENCIA Y CONSUMO TÉRMICO UNITARIO (CTU)

$$\eta = \frac{W_{NET}}{Q_{SUM}} \dots (18)$$

$$\eta_{Carnot} = \left(1 - \frac{T_B}{T_A} \right) \dots (19)$$

$$CTU = \frac{1}{\eta} \dots (20)$$



IV.2.5.- MEMORIA DE CÁLCULO: BALANCE DE EXERGÍA

Fórmulas Utilizadas

Para un volumen de control

$$\sum B_{Entrada} = \frac{dB}{d\tau} + \sum B_{Salida} + \sum B_{destruida}$$

Exergía asociada a un flujo de trabajo

$$B_W = W$$

Exergía asociada a un flujo de materia

$$B_{Flujo} = G [(h - h_0) - T_0 (S - S_0)]$$

Donde G= Flujo

$$b_{Flujo} = (h - h_0) - T_0 (S - S_0)$$

$$B_{Flujo} = G b_{Flujo}$$

CÁLCULO DE EXERGÍA DESTRUÍDA (Bd) EN CADA EQUIPO

TURBINA DE BAJA PRESIÓN (BP)

$$Bd_{BP} = \sum_{P=0.624}^{P=0.01107} Bd_{BP} = Bd_{BP P=0.624} + Bd_{BP P=0.31} + Bd_{BP P=0.138} + Bd_{BP P=0.04542} + Bd_{BP P=0.01107} \dots\dots\dots(1)$$

Donde P = presión

$$Bd_{BP P=0.624} = \left[(b_{13} - b_{14}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{13}}{2} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] - [Bw_{BP P=0.624}] [kW] \dots\dots\dots(2)$$

$$Bw_{BP P=0.624} = W_{BP P=0.624}$$

$$Bd_{BP P=0.313} = \left[(b_{13} - b_{15}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{13}}{2} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] - [Bw_{BP P=0.313}] [kW] \dots\dots\dots(3)$$

$$Bw_{BP P=0.313} = W_{BP P=0.313}$$



$$Bd_{BP P=0.138} = \left[(b_{15} - b_{16}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{13}}{2} - G_{15} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] + \left[(b_{14} - b_{16}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{13}}{2} - G_{14} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] - [Bw_{BP P=0.138}] [kW] \dots\dots\dots(4)$$

$$Bw_{BP P=0.138} = W_{BP P=0.138}$$

$$W_{BP P=0.04542} = \left[(b_{16} - b_{17}) kJ / kg \times (b_{13} - b_{14} - b_{15} - b_{16}) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] - [Bw_{BP P=0.04542}] [kW] \dots\dots\dots(5)$$

$$Bw_{BP P=0.04542} = W_{BP P=0.04542}$$

$$Bd_{BP P=0.01107} = \left[(b_{17} - b_{18}) kJ / kg \times (G_{18}) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] - [Bw_{BP P=0.01107}] [kW] \dots\dots\dots(6)$$

$$Bw_{BP P=0.04542} = W_{BP P=0.04542}$$

TURBINA DE ALTA PRESIÓN Y PRESIÓN INTERMEDIA (AP/PI)

$$Bd_{AP / PI} = Bd_{AP P=4.3} + Bd_{PI P=2.1} + Bd_{PI P=1.15} \dots\dots\dots(7)$$

$$Bd_{AP P=4.3} = \left[(b_5 - b_6) kJ / kg \times (G_5 - G_B - G_P - G_Q - G_R) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] - [Bw_{AP P=4.3}] [kW] \dots\dots\dots(8)$$

$$Bw_{AP P=4.3} = W_{AP P=4.3}$$



$$Bd_{PI P=2.01} = \left[((b_{11})kJ / kg \times (G_{11})kg / h + (b_T)kJ / kg \times (G_T)kg / h) \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \\ - \left[((b_V)kJ / kg \times (G_{11} + G_T))kJ / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] - [Bw_{PI P=2.01}] [kW] \dots(9)$$

$$Bw_{PI P=2.01} = W_{PI P=2.01}$$

$$Bd_{PI P=1.15} = \left[(b_V - b_{12})kJ / kg \times (G_{11} + G_T - G_V)kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] - [Bw_{PI P=1.15}] [kW] \dots\dots\dots(10)$$

$$Bw_{PI P=1.15} = W_{PI P=1.15}$$

EXERGÍA TOTAL DESTRUÍDA POR LAS TURBINAS

$$Bd_T = Bd_{AP/PI} + Bd_{BP} \dots\dots\dots(11)$$

BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN (BAA)

$$Bd_{BAA} = \left[(b_1 - b_2)kJ / kg \times (G_4)kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] + [Bw_{BAA}] [kW] \dots\dots\dots(12)$$

$$Bw_{BAA} = W_{BAA}$$

BOMBA DE CONDENSADO (BC)

$$Bd_{BC} = \left[(H_{28} - H_{29})kJ / kg \times (G_{28})kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] + [Bw_{BAA}] [kW] \dots\dots\dots(13)$$

EXERGÍA TOTAL DESTRUÍDA EN BOMBAS

$$Bd_{BT} = Bd_{BAA} + Bd_{BC} \dots\dots\dots(14)$$

EXERGÍA EN LA CALDERA

$$B_Q = \left[[(b_{11} - b_6)kJ / kg \times (G_6)kg / h - (b_4)kJ / kg \times (G_4 - Perdida)kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] \\ + \left[[(b_C)kJ / kg \times (G_C)kg / h + (b_5)kJ / kg \times (G_5)kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(15)$$



EXERGÍA EN EL CONDENSADOR

$$Bd_{Q_R} = \left[[(b_{18}) kJ / kg \times (G_{18}) kg / h + (b_{27}) kJ / kg \times (G_{27}) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] + \left[[(b_J) kJ / kg \times (G_J) kg / h - (b_{28}) kJ / kg \times (G_{28}) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots \dots \dots (16)$$

EXERGÍA EN EL EJECTOR

$$Bd = \left[[(b_{29} - b_{30}) kJ / kg \times (G_{29}) kg / h + (b_G - b_H) kJ / kg \times (G_G) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots \dots \dots (17)$$

EXERGÍA EN EL CONDENSADOR DE VAPOR DE SELLOS

$$Bd = \left[[(b_{30} - b_{31}) kJ / kg \times (G_{30}) kg / h + (b_B - b_I) kJ / kg \times (G_B) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots \dots \dots (18)$$

EXERGÍA EN EL D.C

$$Bd = \left[[(b_{31} - b_{32}) kJ / kg \times (G_{31}) kg / h + (b_{23}) kJ / kg \times (G_{23}) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] + \left[[(b_{24}) kJ / kg \times (G_{24}) kg / h - (b_{25}) kJ / kg \times (G_{25}) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots \dots \dots (19)$$

EXERGÍA EN EL TANQUE DE DRENAJE

$$Bd = \left[[(b_{21}) kJ / kg \times (G_{21}) kg / h - (b_{22}) kJ / kg \times (G_{22}) kg / h - (b_{29}) kJ / kg \times (G_{29}) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots \dots (20)$$

EXERGÍA EN EL CALENTADOR 1

$$Bd = \left[[(b_{32} - b_{33}) kJ / kg \times (G_{32}) kg / h + (b_F) kJ / kg \times (G_F) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] + \left[[(b_{17}) kJ / kg \times (G_{17}) kg / h + (b_{22}) kJ / kg \times (G_{22}) kg / h - (b_{23}) kJ / kg \times (G_{23}) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots \dots \dots (21)$$

EXERGÍA EN EL CALENTADOR 2

$$Bd = \left[[(b_{33} - b_{34}) kJ / kg \times (G_{33}) kg / h + (b_{16}) kJ / kg \times (G_{16}) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] + \left[[(b_{20}) kJ / kg \times (G_{20}) kg / h - (b_{21}) kJ / kg \times (G_{21}) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots \dots \dots (22)$$



EXERGÍA EN EL CALENTADOR 3

$$Bd = \left[[(b_{34} - b_{35}) kJ / kg \times (G_{34}) kg / h + (b_{15}) kJ / kg \times (G_{15}) kg / h] \times \frac{1h}{3600s} \right] [kW] \\ + \left[[(b_M) kJ / kg \times (G_M) kg / h + (b_{19}) kJ / kg \times (G_{19}) kg / h - (b_{20}) kJ / kg \times (G_{20}) kg / h] \times \frac{1h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(23)$$

EXERGÍA EN EL CALENTADOR 4

$$Bd = \left[[(b_{35} - b_{36}) kJ / kg \times (G_{36}) kg / h + (b_{14} - b_{19}) kJ / kg \times (G_{14}) kg / h] \times \frac{1h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(24)$$

EXERGÍA EN EL DEAREADOR

$$Bd = \left[[(b_{36}) kJ / kg \times (G_{36}) kg / h + (b_{12}) kJ / kg \times (G_{12}) kg / h] \times \frac{1h}{3600s} \right] [kW] \\ + \left[[(b_N) kJ / kg \times (G_N) kg / h + (b_{10}) kJ / kg \times (G_{10}) kg / h - (b_1) kJ / kg \times (G_1) kg / h] \times \frac{1h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(25)$$

EXERGÍA EN EL CALENTADOR 6

$$Bd = \left[[(b_2 - B_3) kJ / kg \times (G_2) kg / h + (b_9) kJ / kg \times (G_9) kg / h - (b_{10}) kJ / kg \times (G_{10}) kg / h] \times \frac{1h}{3600s} \right] [kW] \\ + \left[[(b_8) kJ / kg \times (G_8) kg / h] \times \frac{1h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(26)$$

EXERGÍA EN EL CALENTADOR 7

$$Bd = \left[[(b_3 - b_4) kJ / kg \times (G_3) kg / h + (b_7 - b_8) kJ / kg \times (G_7) kg / h] \times \frac{1h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(27)$$

EXERGÍA EN EL C.C.

$$Bd = \left[[(b_9 - b_M) kJ / kg \times (G_M) kg / h] \times \frac{1h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(28)$$

EXERGÍA EN EL C.A.

$$Bd = \left[[(b_{12} - b_N) kJ / kg \times (G_N) kg / h] \times \frac{1h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(29)$$



EXERGÍA EN EL REGULADOR DE CUELLO

$$Bd = \left[[(b_D) kJ / kg \times (G_D) kg / h + (b_A) kJ / kg \times (G_A) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \\ - \left[[(b_F) kJ / kg \times (G_F) kg / h + (b_C) kJ / kg \times (G_C) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(30)$$

PERDIDA

$$Bd = \left[[(b_4) kJ / kg \times (G_4) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(31)$$

EFICIENCIA EXERGÉTICA (2da Ley)

$$\eta = \frac{W_{NET}}{B_Q} \dots\dots\dots(32)$$



IV.2.6.- RESULTADOS DEL BALANCE DE ENERGÍA Y EXERGÍA DE LA C.T. PDTE. PLUTARCO ELÍAS CALLES "PETACALCO" (1 X 350 MW)

1. TRABAJO DE LA TURBINA DE BP

TURBINA BP	
Presión [MPa]	Trabajo [kW]
0.6240	16,686.0370
0.3130	33,514.4868
0.1380	48,314.0014
0.0454	34,464.9006
0.0111	32,943.8788
TOTAL	165,923.3045

2. TRABAJO DE LA TURBINA AP/PI

TURBINA AP	
Presión [MPa]	Trabajo [kW]
4.300	97,982.7481
TOTAL	97,982.7481

TURBINA PI	
Presión [MPa]	Trabajo [kW]
2.010	52,326.1103
1.150	39,701.7020
TOTAL	92,027.8123

SUBTOTAL		
AP/PI	190,010.5604	[kW]

3. TRABAJO TOTAL DE LASTURBINAS DE BP Y AP/PI

355,933.8649	[Kw]
--------------	------

4. TRABAJO DE BOMBAS

BAA	3,056.2139	[kW]
BC	125.4161	[kW]

SUBTOTAL		
BAA/BC	3,181.6300	[kW]

5. TRABAJO NETO

352,752.2349	[kW]
--------------	------

6. CALORES (Q)

CALDERA	808,294.8710	[kW]
CONDENSADOR	427,098.7632	[kW]



ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN



7. EFICIENCIA Y CTU

η 1ra ley	0.4364
η Carnot	0.632
η 2da ley	0.8161
CTU	2.2914



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**



BALANCE DE ENERGÍA Y EXERGÍA

EQUIPO	CALOR Q [kW]	TRABAJO W [kW]	EXERGIA DESTRUÍDA Bd [kW]	% Bd
TURBINA (BP)				
Presión [MPa]				
0.6240		16,686.0370	1,084.8101	1.3611
0.3130		33,514.4868	2,527.6662	3.1714
0.1380		48,314.0014	2,780.7630	3.4889
0.0450		34,464.9006	2,478.8945	3.1102
0.0110		32,943.8788	6,202.1254	7.7815
TURBINA (AP)				
Presión [MPa]				
4.30		97,982.7481	6,823.7186	8.5614
TURBINA (PI)				
Presión [MPa]				
2.01		52,326.1103	4,808.7946	6.0334
1.15		39,701.7020	3,394.5619	4.2590
BOMBAS				
BAA		-3,056.2139	87.7076	0.1100
BC		-125.4161	-58.4295	-0.0733
CALENTADORES				
1			765.8610	0.9609
2			1,119.8177	1.4050
3			1,013.4965	1.2716
4			885.0850	1.1105
DEAREADOR			1,140.9285	1.4315
6			1,640.7106	2.0585
7			2,346.3928	2.9439
EJECTOR			43.3025	0.0543
CON.VAP.SELL			205.5163	0.2579
D.C			178.7316	0.2242
TANQUE DE DREN			73.7993	0.0926
CONDENSADOR	427,098.7632		30,270.3910	37.9790
C.A			6,191.8159	7.7686
C.C			2,053.1054	2.5759
REG. DE CUELLO			61.5718	0.0773
PERDIDA			1,581.8593	1.9847
CALDERA	808,294.8710		0.0000	0.0000
TOTAL		352,752.2349	79,702.9976	100.0000

GANANCIA DE EXERGÍA EN LA CALDERA

CALDERA	B _Q =	432,223.0097
---------	------------------	--------------



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**



**IV.3.- ESTUDIO TÉCNICO:
BALANCE ENERGÉTICO Y EXERGÉTICO DE LA
C.C.E. PACÍFICO (1 X 651 MW)**



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**



IV.3.1.- BALANCE TÉRMICO DEL VAPOR AL 100 % CARGA



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**





**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**



**IV.3.2.- TABLA DE PROPIEDADES DEL BALANCE TÉRMICO DE LA
C.C.E. PACÍFICO**

Punto	Flujo (G) [kg/h]	Presión (P) [MPa]	Temp. (T) °C	Calidad X	Entalpía (H) [kJ/kg]	Entropía (S) [kJ/kg°C]	Exergía (b) [kJ/kg]
1	2,181,993.0000	1.1309	185.3000	Lin. Liq. sat.	786.4000	2.1907	137.8825
2	2,181,994.0000	1.2772	190.8000	Lin. Liq. sat.	825.3000	2.2434	161.0652
3	2,181,995.0000	2.1428	215.9000	Lin. Liq. sat.	935.0000	2.4798	200.3016
4	2,181,996.0000	4.4457	256.7000	Lin. Liq. sat.	1,119.2000	2.8546	272.7507
5	2,181,997.0000	8.2658	297.3000	Lin. Liq. sat.	1,315.1000	3.2292	356.9523
6	2,138,131.0000	24.2200	538.0000	1.0000	3,309.6000	6.1575	1,478.3879
7	222,852.0000	8.1000	376.8000	1.0000	3,064.0000	6.2557	1,203.5031
8	222,852.0000	4.8620	262.2000	Lin. Liq. sat.	1,145.9000	2.9048	284.4716
9	181,469.0000	4.4400	294.4000	1.0000	2,924.1000	6.2650	1,060.8446
10	404,321.0000	2.3866	221.5000	Lin. Liq. sat.	950.4000	2.5317	200.2133
11	1,669,105.0000	4.2200	566.0000	1.0000	3,594.9000	7.2528	1,437.1099
12	74,231.0000	2.1000	460.0000	1.0000	3,377.8000	7.2927	1,208.1269
13	480,375.0000	1.4379	196.3000	Lin. Liq. sat.	835.9000	2.2958	156.0569
14	89,070.0000	1.1300	367.9000	1.0000	3,192.9000	7.3037	1,019.9319
15	59,835.0000	0.2080	175.9000	1.0000	2,821.0000	7.3836	624.2350
16	89,418.0000	0.5290	278.6000	1.0000	3,018.7000	7.3557	830.2469
17	64,466.0000	0.0990	106.8000	1.0000	2,688.8000	7.4031	486.2044
18	57,580.0000	0.0376	75.5800	0.9619	2,547.2000	7.4195	339.7297
19	89,418.0000	0.2273	124.3000	Lin. Liq. sat.	522.0000	1.5740	57.3479
20	149,253.0000	0.1089	102.0000	Lin. Liq. sat.	427.6000	1.3296	35.8355
21	213,719.0000	0.0422	77.1400	Lin. Liq. sat.	322.9000	1.0413	17.0825
22	272,398.0000	0.0148	53.7200	Lin. Liq. sat.	224.9000	0.7516	5.4412
23	1,612,551.0000	0.0111	47.8700	Lin. Liq. sat.	200.4000	0.6762	3.4470
24	1,612,551.0000	0.0109	47.4600	Lin. Liq. sat.	201.3000	0.6708	5.9394
25	1,612,551.0000	0.0113	48.1700	Lin. Liq. sat.	204.2000	0.6801	6.0830
26	1,612,551.0000	0.0334	71.5900	Lin. Liq. sat.	302.0000	0.9744	16.1384
27	1,612,551.0000	0.0892	96.4500	Lin. Liq. sat.	406.3000	1.2667	33.2647
28	1,612,551.0000	0.1906	118.7000	Lin. Liq. sat.	500.4000	1.5138	53.7144
29	1,612,549.0000	0.4916	151.2000	Lin. Liq. sat.	638.8000	1.8541	90.6290
30	1,448,672.0000	1.1800	367.9000	1.0000	3,192.9000	7.2827	1,026.2100
31	1,178,482.0000	0.0111	4.8000	0.9193	2,394.9000	7.5122	159.7755



ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN



Punto	Flujo (G) [kg/h]	Presión (P) [MPa]	Temp. (T) °C	Calidad X	Entalpía (H) [kJ/kg]	Entropía (S) [kJ/kg°C]	Exergía (b) [kJ/kg]
32	1,295,581.0000	0.0111	47.7330	0.9219	2,401.1810	7.5318	160.2228
33	117,099.0000	0.0111	47.7330	0.9484	2,464.4000	7.7287	164.7254
34	274,186.0000	0.0111	54.0170	Lin. Liq. sat.	226.1305	0.7554	5.5397
35	117,409.0000	1.1200	367.4000	1.0000	3,192.9000	7.3064	1,019.1411
J	42,784.0000	0.0111	42.9789	Lin. Liq. sat.	180.0000	0.6120	2.1766
D	1,788.0000	0.0111	276.7400	1.0000	3,030.3303	9.1519	306.3472
F	1,099.0000	0.0376	259.5350	1.0000	2,995.4279	8.5246	458.4469
K	1,788.0000	0.0111	47.9000	0.0898	414.9000	1.3442	18.7771
T	51,341.0000	4.2200	400.7240	1.0000	3,212.2389	6.7447	1,205.9502
A	1,929.0000	0.0370	223.3500	1.0000	2,924.0850	8.3934	426.2437
B	1,141.0000	0.0370	357.8000	1.0000	3,192.9115	8.8722	552.3185
G	244.0000	0.0370	60.0000	0.9275	2,464.4000	7.2102	319.3163
C	2,030.0000	0.0111	248.1450	1.0000	2,973.7546	9.0462	281.2719
H	186.0000	0.0111	248.1450	1.0000	2,973.7546	9.0462	281.2719
X	993.0000	2.1000	428.5980	1.0000	3,309.6093	7.1963	1,168.6716
Y	830.0000	2.1000	428.5980	1.0000	3,309.6093	7.1963	1,168.6716
AER		0.1013	25.0000	Lin. Liq. sat.	104.8384	0.3673	0.0000



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**



**IV.3.3.- DIAGRAMA T - S DE LA
C.C.E. PACÍFICO**



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**





IV.3.4.- MEMORIA DE CÁLCULO: BALANCE DE ENERGÍA

CÁLCULO DE TRABAJOS, CALORES Y EFICIENCIAS

TURBINAS DE BAJA PRESIÓN

Para calcular la potencia de esta turbina consideraremos que el flujo que entra es la mitad del total que entran a las turbinas de BP.

TURBINA DE BAJA PRESIÓN (BP-1)

$$W_{BP-1} = \sum_{P=0.556}^{P=0.0111} W_{BP-1} = W_{BP-1P=0.556} + W_{BP-1P=0.104} + W_{BP-1P=0.040} + W_{BP-1P=0.0111} \dots\dots\dots(1)$$

Donde P = presión

$$W_{BP-1P=0.556} = \left[(H_{30} - H_{16}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{30}}{2} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(2)$$

$$W_{BP-1P=0.104} = \left[(H_{16} - H_{17}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{30}}{2} - G_{16} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(3)$$

$$W_{BP-1P=0.040} = \left[(H_{17} - H_{18}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{30}}{2} - G_{16} - \frac{G_{17}}{2} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(5)$$

$$W_{BP-1P=0.0111} = \left[(H_{18} - H_{31}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{30}}{2} - G_{16} - \frac{G_{17}}{2} - \frac{G_{18}}{2} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(6)$$

TURBINA DE BAJA PRESIÓN (BP-2)

$$W_{BP-2} = \sum_{P=0.219}^{P=0.0111} W_{BP-2} = W_{BP-2P=0.219} + W_{BP-2P=0.104} + W_{BP-1P=0.040} + W_{BP-1P=0.0111} \dots\dots\dots(7)$$

$$W_{BP-2P=0.219} = \left[(H_{30} - H_{15}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{30}}{2} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(8)$$

$$W_{BP-2P=0.104} = \left[(H_{15} - H_{17}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{30}}{2} - G_{15} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(9)$$



$$W_{BP-2P=0.040} = \left[(H_{17} - H_{18}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{30}}{2} - G_{15} - \frac{G_{17}}{2} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(10)$$

$$W_{BP-2P=0.0111} = \left[(H_{18} - H_{31}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{30}}{2} - G_{15} - \frac{G_{17}}{2} - \frac{G_{18}}{2} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(11)$$

TRABAJO TOTAL TURBINAS W_{BP-1} Y W_{BP-2} (W_{BP-1/BP-2})

$$W_{BP-1/BP-2} = \sum_{P=0.556}^{P=0.0111} W_{BP-1} + \sum_{P=0.219}^{P=0.0111} W_{BP-2} \dots\dots\dots(12)$$

TURBINA (AP/PI)

$$W_{AP P=8.35} = \left[(H_6 - H_7) kJ / kg \times (G_6 - 993 - 135 - G_Q - G_R) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(13)$$

$$W_{AP P=4.58} = \left[(H_7 - H_9) kJ / kg \times (G_6 - 993 - 135 - G_7 - G_Q - G_R) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(14)$$

$$W_{PI P=2.17} = \left[(H_{11})(G_{11}) kJ / h + (H_T)(G_T) kJ / h - (H_{12})(G_{11} + G_T) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(15)$$

$$W_{PI P=1.18} = \left[(H_{12} - H_{14}) kJ / kg \times (G_{11} - G_{12} + G_T) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(16)$$

TRABAJO TOTAL TURBINA DE (AP/PI)

$$W_{TAP} = W_{AP P=8.35} + W_{AP P=4.58} \dots\dots\dots(17)$$

$$W_{TPI} = W_{AP P=2.17} + W_{AP P=1.18} \dots\dots\dots(18)$$

$$W_{AP/PI} = W_{TAP} + W_{TPI} \dots\dots\dots(19)$$

TURBINA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN (BAA)

$$W_{BAA} = \left[(H_{35} - H_{33}) kJ / kg \times (G_{35}) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(20)$$

TRABAJO BRUTO (W_{BRUTO})



$$W_{BRUTO} = W_{AP/PI} + W_{BP-1/BP-2} + W_{BAA} \dots\dots\dots(21)$$

BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN ACCIONADA POR TURBINA (BAA-T)

$$W_{BAA-T} = \left[(H_1 - H_2) kJ / kg \times (G_5) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(22)$$

BOMBA DE CONDENSADO (BC)

$$W_{BC} = \left[(H_{24} - H_{23}) kJ / kg \times (G_{29}) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(23)$$

TRABAJO TOTAL DE BOMBAS

$$W_{BT} = W_{BAA-T} + W_{BC} \dots\dots\dots(24)$$

TRABAJO NETO

$$W_{NET} = W_{BRUTO} - W_{BT} \dots\dots\dots(25)$$

CALOR SUMINISTRADO A LA CALDERA

$$Q_{SUM} = \left[(H_{11} - H_9) kJ / kg \times (G_{11}) kg / h + (H_6 - H_5) kJ / kg \times (G_5 - Perdida) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots(26)$$

CALOR RECHAZADO EN EL CONDENSADOR

$$Q_R = \left[[(H_{34}) kJ / kg \times (G_{34}) kg / h + (H_{32}) kJ / kg \times (G_{32}) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] \\ + \left[[(H_J) kJ / kg \times (G_J) kg / h - (H_{23}) kJ / kg \times (G_{23}) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots(27)$$

EFICIENCIA Y CONSUMO TÉRMICO UNITARIO (CTU)

$$\eta = \frac{W_{NET}}{Q_{SUM}} \dots\dots\dots(28)$$



ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN



$$\eta_{Carnot} = \left(1 - \frac{T_B}{T_A}\right) \dots\dots\dots (29)$$

$$CTU = \frac{1}{\eta} \dots\dots\dots (30)$$



IV.3.5.- MEMORIA CÁLCULO: BALANCE DE EXERGÍA

CÁLCULO DE EXERGÍA

Fórmulas utilizadas

Para un volumen de control

$$\sum B_{Entrada} = \frac{dB}{d\tau} + \sum B_{Salida} + \sum B_{destruida}$$

Exergía asociada a un flujo de trabajo

$$B_w = W$$

Exergía asociada a un flujo de materia

$$B_{Flujo} = G [(h - h_0) - T_0 (S - S_0)]$$

Donde G= Flujo

$$b_{Flujo} = (h - h_0) - T_0 (S - S_0)$$

CÁLCULO DE EXERGÍA DESTRUIDA (Bd) EN CADA EQUIPO

TURBINA DE BAJA PRESIÓN (BP-1)

$$Bd_{BP-1} = \sum_{P=0.556}^{P=0.0111} Bd_{BP-1} = Bd_{BP-1P=0.556} + Bd_{BP-1P=0.104} + Bd_{BP-1P=0.040} + Bd_{BP-1P=0.0111} \dots\dots\dots(1)$$

Donde P = presión

$$Bd_{BP-1P=0.556} = \left[(b_{30} - b_{16}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{30}}{2} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] - [Bw_{BP-1P=0.556}] [kW] \dots\dots\dots(2)$$

$$Bd_{BP-1P=0.104} = \left[(b_{16} - b_{17}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{30}}{2} - G_{16} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] - [Bw_{BP-1P=0.104}] [kW] \dots\dots\dots(3)$$

$$Bd_{BP-1P=0.040} = \left[(b_{17} - b_{18}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{30}}{2} - G_{16} - \frac{G_{17}}{2} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] - [Bw_{BP-1P=0.040}] [kW] \dots\dots\dots(4)$$



$$Bd_{BP-1P=0.0111} = \left[(b_{18} - b_{31}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{30}}{2} - G_{16} - \frac{G_{17}}{2} - \frac{G_{18}}{2} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] - [Bw_{BP-1P=0.0111}] [kW] \dots\dots\dots(5)$$

TURBINA DE BAJA PRESIÓN (BP-2)

$$Bd_{BP-2} = \sum_{P=0.219}^{P=0.0111} Bd_{BP-2} = Bd_{BP-2P=0.219} + Bd_{BP-2P=0.104} + Bd_{BP-1P=0.040} + Bd_{BP-1P=0.0111} \dots\dots\dots(6)$$

$$Bd_{BP-2P=0.219} = \left[(b_{30} - b_{15}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{30}}{2} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] - [Bw_{BP-2P=0.219}] [kW] \dots\dots\dots(7)$$

$$Bd_{BP-2P=0.104} = \left[(b_{15} - b_{17}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{30}}{2} - G_{15} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] - [Bw_{BP-2P=0.104}] [kW] \dots\dots\dots(8)$$

$$Bd_{BP-2P=0.040} = \left[(b_{17} - b_{18}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{30}}{2} - G_{15} - \frac{G_{17}}{2} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] - [Bw_{BP-2P=0.040}] [kW] \dots\dots\dots(9)$$

$$Bd_{BP-2P=0.0111} = \left[(b_{18} - b_{31}) kJ / kg \times \left(\frac{G_{30}}{2} - G_{15} - \frac{G_{17}}{2} - \frac{G_{18}}{2} \right) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] - [Bw_{BP-2P=0.0111}] [kW] \dots\dots\dots(10)$$

EXERGÍA DESTRUIDA TOTAL EN LAS TURBINAS DE BAJA PRESIÓN Bd_{BP-1} Y Bd_{BP-2} ($Bd_{BP-1/BP-2}$)

$$Bd_{BP-1/BP-2} = \sum_{P=0.556}^{P=0.0111} Bd_{BP-1} + \sum_{P=0.219}^{P=0.0111} Bd_{BP-2} \dots\dots\dots(11)$$

TURBINA (AP/PI)

$$Bd_{APP=8.35} = \left[(b_6 - b_7) kJ / kg \times (G_6 - 993 - 135 - G_Q - G_R) kg / h \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] - [Bw_{APP=8.35}] [kW] \dots\dots\dots(12)$$



$$Bd_{AP P=4.58} = \left[(b_7 - b_9) kJ / kg \times (G_6 - 993 - 135 - G_7 - G_Q - G_R) kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] - [Bw_{AP P=4.58}] [kW] \dots\dots\dots(13)$$

$$Bd_{PI P=2.17} = \left[(b_{11}) (G_{11}) kJ / h + (b_T) (G_T) kJ / h - (b_{12}) (G_{11} + G_T) kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] - [Bw_{PI P=2.17}] [kW] \dots\dots(14)$$

$$Bd_{PI P=1.18} = \left[(b_{12} - b_{14}) kJ / kg \times (G_{11} - G_{12} + G_T) kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] - [Bw_{PI P=1.18}] [kW] \dots\dots(15)$$

EXERGÍA DESTRUIDA TOTAL EN LA TURBINA DE (AP/PI)

$$Bd_{TAP} = Bd_{AP P=8.35} + Bd_{AP P=4.38} \dots\dots\dots(16)$$

$$Bd_{TPI} = Bd_{AP P=2.17} + Bd_{AP P=1.18} \dots\dots\dots(17)$$

$$Bd_{AP / PI} = Bd_{TAP} + Bd_{TPI} \dots\dots\dots(18)$$

TURBINA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN (BAA)

$$Bd_{BAA} = \left[(b_{35} - b_{33}) kJ / kg \times (G_{35}) kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] - [Bw_{BAA}] [kW] \dots\dots\dots(19)$$

EXERGÍA TOTAL EN LA TURBINA

$$W_{BRUTO} = W_{AP / PI} + W_{BP-1 / BP-2} + W_{BAA} \dots\dots\dots(21)$$

BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN ACCIONADA POR TURBINA (BAA-T)

$$Bd_{BAA} = \left[(b_1 - b_2) kJ / kg \times (G_5) kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] + [Bw_{BAA-T}] [kW] \dots\dots\dots(20)$$



BOMBA DE CONDENSADO (BC)

$$Bd_{BAA} = \left[(b_{24} - b_{23}) kJ / kg \times (G_{29}) kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] + [Bw_{BC}] [kW] \dots\dots\dots(21)$$

EXERGÍA DESTRUIDA TOTAL EN BOMBAS

$$Bd_{BT} = Bd_{BAA-T} + Bd_{BC} \dots\dots\dots(22)$$

EXERGÍA EN LA CALDERA

$$B_{Q_{SUM}} = \left[(b_{11} - b_9) kJ / kg \times (G_{11}) kg / h + (b_6 - b_5) kJ / kg \times (G_5 - Perdida) kg / h \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] \dots\dots(23)$$

EXERGÍA EN EL CONDENSADOR

$$Bd_{QR} = \left[[(b_{34}) kJ / kg \times (G_{34}) kg / h + (b_{32}) kJ / kg \times (G_{32}) kg / h] \times \frac{1 h}{3600 s} \right] \\ + \left[[(b_j) kJ / kg \times (G_j) kg / h - (b_{23}) kJ / kg \times (G_{23}) kg / h] \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] \dots\dots\dots(24)$$

EXERGÍA EN EL CONDENSADOR DE VAPOR DE SELLOS

$$Bd = \left[[(b_{24} - b_{25}) kJ / kg \times (G_{24}) kg / h + (b_D - b_K) kJ / kg \times (G_D) kg / h] \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] \dots\dots\dots(25)$$

EXERGÍA EN EL CALENTADOR 1

$$Bd = \left[[(b_{25} - b_{26}) kJ / kg \times (G_{25}) kg / h + (b_F) kJ / kg \times (G_F) kg / h] \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] \\ + \left[[(b_{18}) kJ / kg \times (G_{18}) kg / h + (b_{21}) kJ / kg \times (G_{21}) kg / h - (b_{22}) kJ / kg \times (G_{22}) kg / h] \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] \dots\dots(26)$$

EXERGÍA EN EL CALENTADOR 2

$$Bd = \left[[(b_{26} - b_{27}) kJ / kg \times (G_{26}) kg / h + (b_{17}) kJ / kg \times (G_{17}) kg / h] \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] \\ + \left[[(b_{20}) kJ / kg \times (G_{20}) kg / h - (b_{21}) kJ / kg \times (G_{21}) kg / h] \times \frac{1 h}{3600 s} \right] [kW] \dots\dots\dots(27)$$



EXERGÍA EN EL CALENTADOR 3

$$Bd = \left[[(b_{27} - b_{28}) kJ/kg \times (G_{27}) kg/h + (b_{15}) kJ/kg \times (G_{15}) kg/h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \\ + \left[[(b_{19}) kJ/kg \times (G_{19}) kg/h - (b_{20}) kJ/kg \times (G_{20}) kg/h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(28)$$

EXERGÍA EN EL CALENTADOR 4

$$Bd = \left[[(b_{28} - b_{29}) kJ/kg \times (G_{28}) kg/h + (b_{16}) kJ/kg \times (G_{16}) kg/h - (b_{19}) kJ/kg \times (G_{19}) kg/h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots(29)$$

EXERGÍA EN EL DEAREADOR

$$Bd = \left[[(b_{29}) kJ/kg \times (G_{29}) kg/h + (b_{14}) kJ/kg \times (G_{14}) kg/h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \\ + \left[[(b_{13}) kJ/kg \times (G_{13}) kg/h - (b_1) kJ/kg \times (G_1) kg/h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(30)$$

EXERGÍA EN EL CALENTADOR 6

$$Bd = \left[[(b_2 - B_3) kJ/kg \times (G_2) kg/h + (b_y) kJ/kg \times (G_y) kg/h + (b_{12}) kJ/kg \times (G_{12}) kg/h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \\ + \left[[(b_x) kJ/kg \times (G_x) kg/h + (b_{10}) kJ/kg \times (G_{10}) kg/h - (b_{13}) kJ/kg \times (G_{13}) kg/h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(31)$$

EXERGÍA EN EL CALENTADOR 7

$$Bd = \left[[(b_3 - B_4) kJ/kg \times (G_3) kg/h + (b_9) kJ/kg \times (G_9) kg/h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \\ + \left[[(b_8) kJ/kg \times (G_8) kg/h - (b_{10}) kJ/kg \times (G_{10}) kg/h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(32)$$

EXERGÍA EN EL CALENTADOR 8

$$Bd = \left[[(b_4 - B_5) kJ/kg \times (G_4) kg/h + (b_7) kJ/kg \times (G_7) kg/h - (b_8) kJ/kg \times (G_8) kg/h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots\dots\dots(33)$$



EXERGÍA EN EL REGULADOR DE CUELLO

$$Bd = \left[[(b_A) kJ / kg \times (G_A) kg / h + (b_B) kJ / kg \times (G_B) kg / h + (b_G) kJ / kg \times (G_G) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \\ - \left[[(b_C) kJ / kg \times (G_C) kg / h + (b_H) kJ / kg \times (G_H) kg / h + (b_F) kJ / kg \times (G_F) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots (34)$$

EXERGÍA EN PERDIDA

$$Bd = \left[[(b_s) kJ / kg \times (Perdida) kg / h] \times \frac{1 h}{3600s} \right] [kW] \dots (35)$$

EFICIENCIA EXERGÉTICA (2da Ley)

$$\eta = \frac{W_{NET}}{B_Q} \dots (36)$$



IV.3.6.- RESULTADOS DEL BALANCE DE ENERGÍA Y EXERGÍA DE LA C.C.E. PACÍFICO

1. TRABAJOS DE LAS TURBINAS DE BAJA PRESIÓN (BP)

TURBINA BP-1	
Presión [MPa]	Trabajo [kW]
0.5560	35,049.8142
0.1040	58,183.1801
0.0400	23,705.6100
0.0111	24,278.9468
TOTAL	141,217.5511

TURBINA BP-2	
Presión [MPa]	Trabajo [kW]
0.2190	74,827.9329
0.1040	24,401.9534
0.0400	24,869.2080
0.0111	25,530.4721
TOTAL	149,629.5663

SUBTOTAL

BP-1 / BP-2	290,847.1174 [kW]
-------------	--------------------------

2. TRABAJO DE LA TURBINA DE ALTA PRESIÓN Y PRESIÓN INTERMEDIA (AP/PI)

TURBINA AP	
Presión [MPa]	Trabajo [kW]
8.3500	143,173.2022
4.5800	72,894.8173
TOTAL	216,068.0195

TURBINA PI	
Presión [MPa]	Trabajo [kW]
2.1700	98,295.0209
1.1800	84,551.4315
TOTAL	182,846.4524

SUBTOTAL

AP / PI	398,914.4719 [Kw]
---------	--------------------------

3. TRABAJO DE LA TURBINA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN (BAA)

BAA	23,759.0157 [Kw]
-----	-------------------------

4. TRABAJO BRUTO DE LA TURBINA

W_{BRUTO}	713,520.6051 [Kw]
-------------	--------------------------



ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN



5. TRABAJO DE BOMBAS

BAA-T	23,577.6466	[Kw]
BC	403.1373	[Kw]

SUBTOTAL

BAA-T / BC	23,980.7838	[Kw]
------------	-------------	------

6. TRABAJO NETO

W_{NET}	689,539.8212	[Kw]
-----------	--------------	------

7. CALORES (Q)

CALDERA	1,496,191.6608	[Kw]
CONDENSADOR	56,565.3500	[Kw]

4. EFICIENCIA Y CTU

η 1ra ley	0.461
η Carnot	0.6448
η 2da ley	0.820
CTU	2.170



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**



BALANCE DE ENERGÍA Y EXERGÍA

EQUIPO	CALOR Q [kW]	TRABAJO W [kW]	EXERGÍA D. Bd [kW]	% Bd
TURBINA (BP-1)				
Presión [Mpa]				
0.5560		35,049.8142	4,378.8423	2.9097
0.1040		58,183.1801	2,494.2490	1.6574
0.0400		23,705.6100	816.0863	0.5423
0.0111		24,278.9468	4,408.5118	2.9294
TURBINA (BP-2)				
Presión [Mpa]				
0.2190		74,827.9329	6,051.2344	4.0209
0.1040		24,401.9534	1,076.2232	0.7151
0.0400		24,869.2080	856.1441	0.5689
0.0111		25,530.4721	4,635.7607	3.0804
TURBINA (AP)				
Presión [Mpa]				
8.3500		143,173.2022	17,071.6539	11.3438
4.5800		72,894.8173	1,437.3356	0.9551
TURBINA (PI)				
Presión [Mpa]				
2.1700		98,295.0209	7,839.6769	5.2093
1.1800		84,551.4315	1,506.7465	1.0012
TURBINA BAA				
Presión [Mpa]				
1.1200		23,759.0157	4,106.5642	2.7287
BOMBAS				
BAA		-23,577.6466	9,526.4082	6.3301
BC		-403.1373	-713.3024	-0.4740
CALENTADORES				
1			1,672.0708	1.1111
2			1,506.7488	1.0012
3			1,153.9742	0.7668
4			2,662.3105	1.7691
DEAREADOR			3,082.2756	2.0481
6			3,383.8725	2.2485
7			4,686.5253	3.1141
8			5,855.6609	3.8910
CON.VAP.SELL			78.4872	0.0522
CONDENSADOR	-56,565.3487		56,565.3487	37.5866
REG. DE CUELLO			112.0003	0.0744
PERDIDA			4,242.0812	2.8188
CALDERA	1,496,191.6608		0.0000	0.0000
TOTAL		689,539.8212	150,493.4905	100.0000



ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN



Ganancia de Exergía en la Caldera

CALDERA	$B_0 =$	840,838.0507
---------	---------	--------------



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**



IV.4.- ESTUDIO ECONÓMICO



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**



IV.4.1.-COSTOS DE GENERACION ¹

COSTO UNITARIO DE GENERACIÓN
Tasa de descuento de 12%
(Dólares de 2006)
(precios medios de 2006)

Central	Potencia bruta (MW)	Inversión		Combustible ^{1/}		Operación y Mantenimiento ^{2/}		Total		
		(dól/MWh)	Índice	(dól/MWh)	Índice	(dól/MWh)	Índice	(dól/MWh)	Índice	
Térmica convencional	2 x 350	19.33	100	49.79	100	5.76	100	74.88	100	
	2 x 160	26.71	138	51.76	104	8.72	151	87.19	116	
	2 x 84	31.30	162	58.10	117	11.41	198	100.81	135	
	2 x 37.5	37.49	194	62.71	126	15.66	272	115.86	155	
Turbogás aeroderivada gas	1 x 43.4	72.34	374	65.08	131	22.49	390	159.91	214	
Turbogás industrial gas	1 x 85	54.81	284	82.31	165	11.64	202	148.76	199	
Turbogás industrial gas	F	1 x 190	42.52	220	73.56	148	7.14	124	123.22	165
	G	1 x 267	41.26	213	69.58	140	5.26	91	116.10	155
Turbogás aeroderivada diesel	1 x 41.3	71.97	372	85.87	172	24.62	427	182.46	244	
Ciclo combinado gas	1 x 1 F ^{3/}	1 x 291	9.26	48	48.56	98	5.41	94	63.23	84
	2 x 1 F	1 x 583	8.91	46	48.35	97	4.33	75	61.59	82
	1 x 1 G	1 x 400	8.83	46	48.08	97	4.72	82	61.63	82
	2 x 1 G	1 x 802	8.39	43	47.85	96	3.78	66	60.02	80
Diesel ^{4/}	2 x 18.4	34.52	179	41.17	83	19.77	343	95.46	127	
	4 x 9.7	37.55	194	42.97	86	20.73	360	101.25	135	
	3 x 3.4	42.05	218	47.30	95	27.23	473	116.58	156	
Carboeléctrica ^{5/ 6/}	2 x 350	26.85	139	18.56	37	7.81	136	53.22	71	
Carb. supercrítica s/desulf. ^{5/ 6/}	1 x 700	23.71	123	19.74	40	6.10	106	49.55	66	
Carb. supercrítica c/desulf. ^{5/ 6/}	1 x 700	27.14	140	16.43	33	7.35	128	50.92	68	
Nuclear (ABWR) ^{7/ 8/}	1 x 1,356	31.87	165	6.57	13	8.96	156	47.40	63	
Geotermoeléctrica ^{9/}										
	Cerro Prieto	4 x 26.95	23.23	120	21.34	43	7.56	131	52.13	70
	Los Azufres	4 x 26.60	23.97	124	18.63	37	7.13	124	49.73	66
Hidroeléctricas										
	Aguamilpa	3 x 320	112.68	583	0.80	2	3.95	69	117.43	157
	Agua Prieta	2 x 120	156.90	812	0.21	0	7.66	133	164.77	220
	La Amistad	2 x 33	53.93	279	1.83	4	14.00	243	69.76	93
	Bacurato	2 x 46	66.48	344	0.99	2	9.43	164	76.90	103
	Caracol	3 x 200	96.87	501	1.13	2	4.72	82	102.72	137
	Comedero	2 x 50	85.19	441	1.29	3	9.41	163	95.89	128
	Chicoasén	5 x 300	66.24	343	0.59	1	3.08	53	69.91	93
	Peñitas	4 x 105	70.30	364	3.14	6	4.83	84	78.27	105
	Zimapán	2 x 146	143.21	741	0.18	0	2.69	47	146.08	195

1/ El costo del combustible se deriva del escenario medio de evolución de sus precios (marzo de 2006)

2/ El costo de operación y mantenimiento incluye el correspondiente al agua, excepto para las hidroeléctricas que se considera en el combustible

3/ Número de turbinas de gas por cada turbina de vapor (1x1 o 2x1) y modelo de turbina de gas (F o G)

4/ Los motores de combustión interna son de cuatro tiempos

5/ La central carboeléctrica opera con carbón doméstico; las restantes con carbón importado

6/ Para integrar al costo de inversión el correspondiente a la terminal de recibo y manejo de carbón deberán sumarse 2.8 dól/MWh

7/ El costo unitario de inversión incluye un cargo por desmantelamiento de 0.08 dól/MWh

8/ El costo del combustible incluye un cargo por manejo de combustible irradiado de 1 dól/MWh

9/ El costo del combustible se refiere a la inversión, operación y mantenimiento del campo geotérmico

Figura 25

¹ COPAR de Generación 2006, CFE, 26ª edición



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**



COSTO UNITARIO DE INVERSIÓN
Tasa de descuento de 12%
(Dólares de 2006)
(precios medios de 2006)

Central	Potencia bruta (MW)	Directo		Directo más indirecto ^{1/}		Actualización al inicio de operación ^{2/}		
		(dól/kW)	Índice	(dól/kW)	Índice	(dól/kW)	Índice	
Térmica convencional	2 x 350	815.54	100	896.28	100	1,079.57	100	
	2 x 160	983.32	121	1,080.67	121	1,286.37	119	
	2 x 84	1,147.03	141	1,260.59	141	1,504.39	139	
	2 x 37.5	1,390.87	171	1,528.56	171	1,766.57	164	
Turbogás aeroderivada gas	1 x 43.4	652.11	80	668.41	75	706.82	65	
Turbogás industrial gas	1 x 85	494.40	61	506.76	57	535.88	50	
Turbogás industrial gas ^F	1 x 190	381.09	47	390.61	44	416.70	39	
	G	1 x 267	368.24	45	377.44	42	402.65	37
Turbogás aeroderivada diesel	1 x 41.3	650.78	80	667.04	74	705.37	65	
Ciclo combinado gas	1 x 1 ^F	1 x 291	472.99	58	498.06	56	568.62	53
	2 x 1 ^F	1 x 583	444.23	54	467.78	52	547.67	51
	1 x 1 ^G	1 x 400	451.27	55	475.19	53	542.51	50
	2 x 1 ^G	1 x 802	418.51	51	440.69	49	515.96	48
Diesel	2 x 18.4	1,326.30	163	1,396.59	156	1,612.69	149	
	4 x 9.7	1,437.87	176	1,514.08	169	1,739.84	161	
	3 x 3.4	1,641.19	201	1,728.18	193	1,911.45	177	
Carboeléctrica ^{3/}	2 x 350	1,129.61	139	1,270.81	142	1,575.11	146	
Carb. supercrítica s/desulf. ^{3/}	1 x 700	957.15	117	1,076.80	120	1,402.70	130	
Carb. supercrítica c/desulf. ^{3/}	1 x 700	1,051.41	129	1,182.84	132	1,533.65	142	
Nuclear (ABWR)	1 x 1,356	1,524.38	187	1,605.17	179	2,095.65	194	
Geotermoeléctrica ^{4/}								
Cerro Prieto	4 x 26.95	1,013.12	124	1,271.47	142	1,445.95	134	
Los Azufres	4 x 26.60	1,059.64	130	1,329.85	148	1,512.34	140	
Hidroeléctricas								
Aguamilpa	3 x 320	1,408.38	173	1,583.02	177	2,311.10	214	
Agua Prieta	2 x 120	1,678.37	206	1,886.49	210	2,658.52	246	
La Amistad	2 x 33	853.64	105	959.50	107	1,250.42	116	
Bacurato	2 x 46	1,217.93	149	1,368.95	153	1,784.03	165	
Caracol	3 x 200	1,368.69	168	1,538.41	172	2,261.69	210	
Comedero	2 x 50	1,412.93	173	1,588.13	177	2,154.75	200	
Chicoasén	5 x 300	1,427.60	175	1,604.62	179	2,282.10	211	
Peñitas	4 x 105	1,803.86	221	2,027.54	226	2,963.76	275	
Zimapán	2 x 146	4,141.03	508	4,654.52	519	6,118.30	567	

1_/ Comprende ingeniería y administración

2_/ Incluye intereses durante la construcción

3_/ Para integrar al costo directo de inversión el correspondiente a la terminal de recibo y manejo de carbón deberán sumarse 131.63 dól/kW

4_/ Se refiere exclusivamente a la central

Figura 26



ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN



IV.4.2.-PRECIOS DE COMBUSTIBLES²

ESCENARIO MEDIO DE EVOLUCIÓN DEL PRECIO
DOMÉSTICO DE LOS COMBUSTIBLES ^{1/}
Tasa de descuento de 12%
(Dólares de 2006)

Año	Combustóleo (barril)	Gas ^{2/} (1000 ft ³)	Diesel (barril)	Carbón (tonelada métrica)			Uranio enriquecido (g)
				Doméstico	Importado en Petacalco		
				0.5% Azufre	2% Azufre		
2006	35.76	8.88	66.47	37.43	70.28	56.96	2.38
2007	35.80	8.11	61.66	34.50	58.70	46.34	2.39
2008	28.95	7.57	51.98	34.46	55.78	43.80	2.39
2009	28.33	7.04	50.35	34.55	55.26	43.50	2.40
2010	26.83	6.72	48.16	34.49	55.58	44.05	2.41
2011	26.87	6.51	48.03	34.41	55.93	44.39	2.41
2012	27.67	6.51	49.06	34.33	56.28	44.75	2.42
2013	28.08	6.62	49.12	34.28	56.63	45.09	2.42
2014	28.88	6.62	50.17	34.23	56.98	45.43	2.43
2015	29.68	6.62	51.28	34.20	57.32	45.78	2.44
2016	30.77	6.67	52.39	34.17	58.25	46.41	2.44
2017	31.86	6.71	53.50	34.16	59.16	47.05	2.45
2018	32.95	6.75	54.61	34.16	60.09	47.68	2.45
2019	34.04	6.80	55.72	34.18	61.00	48.31	2.46
2020	35.13	6.84	56.83	34.21	61.93	48.93	2.47
2021	36.09	6.89	58.09	34.25	62.06	49.07	2.47
2022	37.04	6.93	59.36	34.29	62.18	49.20	2.48
2023	38.00	6.98	60.64	34.33	62.32	49.32	2.48
2024	38.96	7.03	61.91	34.37	62.44	49.45	2.49
2025	39.91	7.07	63.19	34.40	62.56	49.57	2.50
2026	41.14	7.12	64.64	34.43	62.71	49.73	2.50
2027	42.36	7.17	66.10	34.47	62.87	49.87	2.51
2028	43.59	7.21	67.56	34.49	63.01	50.03	2.52
2029	44.82	7.26	69.02	34.51	63.15	50.17	2.52
2030	46.04	7.31	70.48	34.53	63.30	50.31	2.53
2031	47.33	7.36	72.14	34.55	63.45	50.47	2.54
2032	48.61	7.41	73.82	34.58	63.60	50.61	2.54
2033	49.89	7.46	75.49	34.59	63.74	50.75	2.55
2034	51.18	7.51	77.17	34.61	63.88	50.90	2.55
2035	52.46	7.56	78.84	34.62	64.03	51.03	2.56
Nivelado ^{3/}	32.44	7.22	55.83	34.71	59.48	47.27	2.43

^{1/} Los precios corresponden al escenario de combustibles de marzo de 2006, Gerencia de Estudios Económicos

^{2/} Promedio del gas natural doméstico entregado en planta

^{3/} Nivelado a 30 años, excepto para la nuclear que es a 40 años

Figura 27

² COPAR de Generación 2006, CFE, 26ª edición



IV.4.3.- ESTUDIO ECONÓMICO DE LA C.T. PDTE. PLUTARCO ELÍAS CALLES (PETACALCO)

Con objeto de determinar la viabilidad de esta Central, se hace el presente “Análisis Económico”, el cual comprende un estudio a “Valor Presente Neto”, un Análisis “Beneficio / Costo”, “Período de Recuperación” y “Tasa Interna de Retorno”.

1.- CÁLCULO DEL COSTO TOTAL DE GENERACIÓN

El Costo total de generación comprende la Inversión, el Costo de Combustible y Costo de Operación y Mantenimiento. El período de vida útil de la Central es de 30 años.

1.1. Inversión (P)

El costo de inversión se obtiene a partir de Costo Directo de Inversión

$$P = [\text{CDI (dól/KW)} * \text{CNC (KW)}] [\text{dól}]$$

Nomenclatura	Significado
CDI	Costo Directo de Inversión
CNC	Capacidad Neta de la Central

1.2. Costo Anual de Combustible CAC

$$\text{CAC} = [\text{CCU (dól/MWh)} * \text{HO (h)} * 2 * 350 (\text{MW})] (\text{dól/año})$$

$$\text{HO} = [365 \text{ días} * 24 \text{ h/día} * \text{FP (1)}] (\text{h})$$

Nomenclatura	Significado
CCU	Costo de Combustible Unitario
HO	Horas de Operación de la Central en un año
FP	Factor de Planta de la central

1.3 Costo Anual de Operación y Mantenimiento CAOM

$$\text{CAOM} = [\text{COMU (dól/MWh)} * \text{HO (h/año)} * \text{CNC (MW)}] (\text{dól/ año})$$

Nomenclatura	Significado
COMU	Costo de Operación y Mantenimiento Unitario
HO	Horas de Operación de la Central en un año
CNC	Capacidad Neta de la Central



2.- ANÁLISIS ECONÓMICO

2.1.- Valor Presente Neto (VPN)

$$VPN = -P + \sum_{n=1}^{n=30} \frac{\text{Ingreso anual}}{(1+i)^n} [\text{dól}]$$

$$i = (1, 2, 3, \dots, n); n = 30$$

$$\text{Ingreso anual} = [B \text{ (dól/año)} - \text{CAC (dól/año)} - \text{CAOM (dól/año)}] \text{ (dól/año)}$$

en donde:

$$B = [\text{CNC (MW)} \times \text{TT (dól/MWh)} \times \text{HO (h/año)}] \text{ (dól/año)}$$

B = Beneficios

TT= Tarifa de Transmisión

i = Tasa de préstamo bancario

VPN= Valor Presente Neto

2.2.- Período de Recuperación (m)

$$m = \frac{-\ln\left(1 - \frac{(P) * (i)}{\text{Ingreso anual}}\right)}{\ln(1+i)} \text{ (años)}$$

2.3.- Análisis Beneficio / Costo

$$B/C = \frac{\sum_{i=1}^{i=30} \frac{B}{(1+i)^n}}{P + \sum_{i=1}^{i=30} \frac{\text{CAC} + \text{CAOM}}{(1+i)^n}} \text{ ()}$$

2.4.- Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR se obtiene al encontrar una tasa tal que $VPN = 0$ o también despejándola de la siguiente ecuación.

$$(1 + TIR)^{-n} + P * \frac{(TIR)}{\text{Ingreso anual}} - 1 = 0$$



3.- DATOS³

	Cantidad	Unidad
CNC	2 X 350	[MW]
CDI	1129.69	[dól /KW]
CCU	18.56	[dól /MWh]
TT	80.47	[dól /MWh]
HO	7008	[h/año]
FP	0.80	[1]
COMU	7.81	[dól /KWh]
i	12	[%]
I	790 727 000	[dól]
n	30	[años]

4.- RESULTADOS

Método	Cantidad	Unidad
VPN	1 347 062 116.52	[dól]
m	3.9	[años]
B/C	1.73	[]
TIR	33.55	[%]

³ COPAR de Generación 2006, CFE, 26ª edición



IV.4.4.- ESTUDIO ECONÓMICO DE LA C.C.E. PACÍFICO

Con objeto de determinar la viabilidad de este Proyecto, se hace el presente “Análisis Económico” el cual comprende un estudio del “Valor Presente Neto”, un análisis “Beneficio / Costo”, “Período de Recuperación” y “Tasa Interna de Retorno” de la Central Carboeléctrica CCE Pacífico.

1.- CÁLCULO DEL COSTO TOTAL DE GENERACIÓN

El Costo total de generación comprende la Inversión, el Costo de Combustible y Costo de Operación y Mantenimiento. El período de vida útil del proyecto es de 30 años.

1.1. Inversión (P)

El Contrato No. PIF-030/2005 firmado el 22 de diciembre de 2005 entre CFE y el Consorcio formado por Carboeléctrica Diamante, S.A. de C.V. y Mitsubishi Corporation comprende: el Diseño, Ingeniería, Suministro, Construcción, Fletes, Seguros, Aranceles, Impuestos, Manejo Aduanal, Capacitación requerida, Pruebas y Puesta en Servicio, así como el financiamiento por parte del contratista durante la construcción, para tener una operación segura, confiable y eficiente de la Central Carboeléctrica Pacífico.

El Contrato se celebró bajo la modalidad de Obra Pública Financiada (OPF), a Precio Alzado, con un monto de 611, 290,000 dól.

P = 611, 290,000 dól

1.2. Costo Anual de Combustible CAC

$CAC = [CC \text{ al } 100 \% (Tm/h) * HO (h / \text{año}) * PC (dól/Tm)] (dól/año)$

$HO = [365 \text{ días} * 24 \text{ h/día} * FP (1)] (h)$

Nomenclatura	Significado
CC al 100%	Consumo de Combustible de la Central al 100 % de Carga
HO	Horas de operación de la Central en un año
FP	Factor de Planta de la central
PC	Precio de combustible Carbón tipo A
Tm	Tonelada métrica



1.3 Costo Anual de Operación y Mantenimiento CAOM

$$CAOM = [COMU \text{ (dól/MWh)} * HO \text{ (h/año)} * CNC \text{ (MW)}] \text{ (dól/ año)}$$

Nomenclatura	Significado
COMU	Costo de operación y Mantenimiento Unitario
HO	Horas de operación de la Central en un año
CNC	Capacidad Neta de la Central

2.- ANÁLISIS ECONÓMICO

2.1.- Valor Presente Neto (VPN)

$$VPN = -P + \sum_{n=1}^{n=30} \frac{\text{Ingreso anual}}{(1+i)^n} [\text{dól}]$$

$$i = (1, 2, 3, \dots, n); n = 30$$

$$\text{Ingreso anual} = [B \text{ (dól/año)} - CAC \text{ (dól/año)} - CAOM \text{ (dól/año)}] \text{ (dól/año)}$$

en donde:

$$B = [CNC \text{ (MW)} * TT \text{ (dól/MWh)} * HO \text{ (h/año)}] \text{ (dól/año)}$$

B = Beneficios

TT = Tarifa de Transmisión

i = Tasa de préstamo bancario

VPN = Valor Presente Neto

2.2. Período de Recuperación (m)

$$m = \frac{-\ln\left(1 - \frac{(P) * (i)}{\text{Ingreso anual}}\right)}{\ln(1+i)} \text{ (años)}$$



2.3.- Análisis Beneficio / Costo

$$B/C = \frac{\sum_{i=1}^{i=30} \frac{B}{(1+i)^n}}{P + \sum_{i=1}^{i=30} \frac{CAC + CAOM}{(1+i)^n}} \quad []$$

2.4.- Análisis Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR se obtiene al encontrar una tasa tal que VPN = 0 o también despejándola de la siguiente ecuación.

$$(1 + TIR)^{-n} + P * \frac{(TIR)}{\text{Ingreso anual}} - 1 = 0$$

3.- DATOS⁴

	Cantidad	Unidad
CNC	651.16	[MW]
TT	80.47	[dól /MWh]
HO	7008	[h/año]
FP	0.80	[]
PC	58.70	[dól /Tm]
CC 100% carga	200.49	[Tm/h]
COMU	6.10	[dól /KWh]
i	12	[%]
P	611, 290,000	[dól]
n	30	[años]

4.- RESULTADOS

Método	Cantidad	Unidad
VPN	1 458 081182.67	[dól]
m	2.96	[años]
B/C	1.972	[1]
TIR	42.02	[%]

⁴ COPAR de Generación 2006, CFE, 26ª edición



**ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN**



**CAPÍTULO V
CONCLUSIONES**



V.- CONCLUSIONES

En vista de la construcción de la primera Central Carboeléctrica de Presión Supercrítica por Encendido de Carbón en México, la “C.C.E. Pacífico”, podemos concluir de acuerdo con los resultados obtenidos en éste trabajo lo siguiente:

1. Definitivamente México a través de la CFE esta continuando una tendencia en el uso del carbón como combustible base en Centrales Carboeléctricas como Río Escondido, Carbón II, C.T. Pdte. Plutarco Elías Calles (Petacalco), y ahora Pacífico, diversificando así el uso de fuentes de energía, y disminuyendo la dependencia energética que se tiene con los hidrocarburos, además de implementar nueva tecnología que opera en condición supercrítica que básicamente en todo el mundo se esta utilizando.
2. Cabe destacar que el carbón presenta características importantes, entre las que se encuentran las siguientes:
 - La energía generada con carbón es la de más bajo costo.
 - El carbón es un recurso fósil abundante, sus reservas son tres veces las reservas del petróleo o del gas.
 - Está localizado en una amplia diversidad geográfica y sin problemas geopolíticos relevantes.
 - En resumen, es un recurso barato, abundante y mediante nuevas tecnologías ya no agresivo con el medio ambiente.
3. De acuerdo al Estudio Técnico entre la C.T. Pdte. Plutarco Elías Calles (Petacalco) y la C.C.E. Pacífico, se puede concluir que básicamente los equipos y el funcionamiento de ambas Centrales son similares y en general en los Balances Térmicos de ambas presentan las siguientes diferencias (Ver Balances Térmicos)

CCE Pacífico

- Funcionará con una Caldera Supercrítica.
- Posee dos bombas de agua de alimentación accionadas por turbina.
- La Turbina de Baja Presión esta dividida en dos carcasas
- Posee un calentador de alta presión más.

C.T. Pdte. Plutarco Elías Calles (Petacalco)

- Posee un eyector más.
- Posee un tanque de drenaje y el enfriador de drenaje.



4. Un factor importante son los rangos de presión que se manejan en las calderas, en la CCE Pacífico presenta un valor mucho más elevado de presión de vapor principal, alrededor de 24.22 MPa, presión por encima del punto crítico, por lo cual se le nombra Ciclo Supercrítico de Vapor, mientras que la C.T. Pdte. Plutarco Elías Calles (Petacalco) trabaja a una presión de vapor principal de 16.7 Mpa, presión que se encuentra por debajo del punto crítico, por lo cual se denomina Ciclo Subcrítico de Vapor. Lo anterior se refleja en las eficiencias térmicas, por una parte la CCE Pacífico posee una eficiencia térmica del 46% mientras que la C.T. Pdte. Plutarco Elías Calles (Petacalco) presenta 43%, es decir, el Ciclo Supercrítico es más eficiente que un Ciclo Subcrítico, dicho aumento de eficiencia tiene una gran importancia porque representa un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos, además de una disminución en la producción de agentes contaminantes hacia el medio ambiente.
5. La eficiencia más alta por parte de la CCE Pacífico también se refleja en el Estudio Económico, pues dichos estudios confirman que una Central Supercrítica es más factible que una Central Subcrítica, en otras palabras los costos de generación son menores en Centrales Supercríticas.
6. En el Estudio Exergético, las eficiencias obtenidas son similares entre las dos Centrales (81.6% Petacalco y 82% Pacífico), esto quiere decir que de acuerdo a la Segunda Ley de la Termodinámica ambas Centrales tienen casi la misma capacidad para transformar la energía del combustible en trabajo útil (la eficiencia de primera ley de ambas centrales se acerca en un mismo rango a su eficiencia máxima, que es la de Carnot). La eficiencia exergética de la Central Supercrítica (CCE Pacífico) se ve disminuida por las altas presiones en las Turbinas de Alta Presión y Presión Intermedia (AP/PI), como se puede observar en los resultados obtenidos, la pérdida de exergía en dichas turbinas representan un porcentaje considerable en las pérdidas de exergía de la Central.
7. De acuerdo al Estudio Económico, se tiene que la CCE Pacífico es más factible que la C.T. Pdte. Plutarco Elías Calles (Petacalco) debido a que con la primera se obtendrá 2.38 veces de excedente después de haber recuperado la inversión en lugar de 1.7 veces de excedente con la segunda, tal y como lo muestra el Análisis del Valor Presente Neto con una tasa de descuento del 12%.
8. El análisis de Beneficio / Costo, del Estudio Económico, muestra que la CCE Pacífico tiene mayores beneficios que la C.T. Plutarco Elías Calles (Petacalco) ya que tiene una relación de 1.97 veces los beneficios con respecto a los costos en lugar de 1.73 veces que se tienen con la segunda. Asimismo la CCE Pacífico tiene un período de recuperación mayor puesto que se recupera la inversión en un período de 2.96 años contra 3.9 años de la C.T. Plutarco Elías Calles (Petacalco). La CCE Pacífico tiene una Tasa Interna de Retorno mayor que la C.T. Plutarco Elías Calles (Petacalco), por lo que puede soportar un interés mayor para que la inversión sea rentable ya que tiene un valor de 42.02% contra



33.55%. Por todo lo anterior se determina que la CCE Pacífico es más factible que la C.T. Plutarco Elías Calles (Petacalco).

9. Las Centrales Supercríticas de Encendido por Carbón presentan como ya se mencionó, una serie de beneficios tanto técnicos como económicos, que pueden en un futuro cercano ayudar a resolver la creciente demanda de energía eléctrica del país, manteniendo una heterogeneidad energética, con una dependencia menor a los hidrocarburos, obteniendo energía eléctrica muy competitiva y estable económicamente en comparación con otros tipo de centrales que tienen dependencia al precio de los hidrocarburos.
10. En un panorama general del sector eléctrico mexicano, mientras no existan otros tipos de generación de energía con muy buenas perspectivas hacia el futuro como son la energía nuclear y las energías renovables, teniéndose en la primera muchos debates sobre su uso debido a la seguridad que se debe tener en las Centrales y en las segundas como son la energía solar o la energía eólica, que puedan alcanzar una mayor importancia reduciendo sus costos y aumentando su producción a gran escala; la energía generada en Centrales de Presión Supercrítica por Encendido de Carbón será la forma de producir energía eléctrica más viable, teniendo que ser complementadas con sistemas de eliminación de emisiones contaminantes, como son los Precipitadores Electrostáticos, Sistemas DeNOx y DeSox, para así disminuir la contaminación ambiental.



ANEXO 1.- ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN CFE POR

GONZALEZ PERALES JOSÉ ANTONIO



ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE)

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se describen las actividades realizadas en la Comisión Federal de Electricidad (CFE), durante la estancia en que realicé mi Servicio Social en dicha Dependencia, es decir, del período del 8 de noviembre de 2005 al 8 de mayo de 2006.

Dentro del programa de obras e inversión del Sector Eléctrico 1998-2007, se considera la ampliación de la capacidad de generación eléctrica en la zona del Pacífico, con la instalación de una central Carboeléctrica con una unidad de 700 MW en una sola unidad, en Petacalco Guerrero.

El Proyecto 62 CCE Pacífico (Central Carboeléctrica), que será construida y operada mediante un esquema financiero bajo la modalidad de Obra Pública Financiada, lo que significa que la central será diseñada y construida por medios económicos propios del Gobierno Federal y operada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

El proyecto será construido en el predio de la Central Termoeléctrica Presidente Plutarco Elías Calles, que se localiza en el estado de Guerrero, municipio de la Unión, cercana a la comunidad de Petacalco.

El proyecto CCE Pacífico utilizará carbón mineral como combustible para la operación normal de la unidad de 700MW, para lo que habrá que desarrollar la infraestructura necesaria para el transporte de carbón, así como de las cenizas generadas por la combustión, lo cual será responsabilidad de CFE.

Se estima que la demanda nacional de energía eléctrica se va a incrementar en un 5.9% anual durante los próximos años y específicamente para el área occidental del país se estima que tendrá un crecimiento promedio anual de 6.2 % durante el periodo 2000-2009, por lo que en el programa de Obras e Inversión del Sector Eléctrico, se contempla el desarrollo del Proyecto CCE Pacífico para satisfacer este incremento de demanda, con la generación de 700MW adicionales de capacidad media anual bruta.

El proyecto permitirá mantener la oferta de energía eléctrica requerida por el Sistema Eléctrico Nacional. En caso de que no se llevara a la ejecución del proyecto, y no se realizaran las obras de transmisión asociadas, no se alcanzarán los beneficios esperados.



DESARROLLO DEL INFORME

Realicé el control de modificaciones a las Bases de Licitación de la Central Carboeléctrica "62 CCE Pacífico". El control lo elaboramos en base a las nuevas fechas de modificaciones, y a los puntos, secciones o anexos que se iban modificando por los Departamentos de Ingeniería correspondientes, dicho control de modificaciones fue en forma electrónica. Tomamos como referencia a unas Bases de Licitación también en forma electrónica, que se encontraban organizadas por ademdums. Posteriormente revisamos dichas bases (en forma impresa), y realizamos las modificaciones necesarias para tenerlas actualizadas y en carpetas.

Realicé el control de planos del proyecto CCE Pacífico en el cual elabore una lista o índice de dichos planos, en el cual incluí el nombre, el numero y la revisión del plano. Este control lo realice con las Bases de Licitación que se encontraban en forma impresa.

Apoyé en la organización de la evaluación técnica del proyecto CCE Pacífico. Esta organización consistió en varias actividades, primero instalamos el equipo de cómputo utilizado para la evaluación en una sala de juntas, dicho equipo consta de cuatro computadoras. Posteriormente una vez que dio comienzo el primer día de actividades de la evaluación, organizamos la captura de la primera ronda de preguntas hechas por los diferentes departamentos de ingeniería y gerencias de construcción correspondientes a las propuestas.

Dichas propuestas eran tres (Siemens, Hitachi y Mitsubishi). La organización de las preguntas la realizamos con ayuda del equipo de cómputo en carpetas y subcarpetas de los diferentes departamentos calificadores y de las diferentes propuestas. Terminamos esta actividad imprimiendo dichas preguntas, ya en forma impresa en una carpeta, para ser mandadas al área correspondiente.

También dentro de estas actividades apoye la realización del oficio, sobre las reglas a seguir en el manejo de los documentos o propuestas técnicas de los licitantes. En este oficio mencionamos el procedimiento a seguir al consultar información, su salida o entrada a la sala de junta, acopio de información, así como la información necesaria para que se tuviera un mejor control de la información manejada y de la información capturada.

La misma organización la realizamos en la segunda ronda de preguntas que realizaron los departamentos calificadores

Posteriormente organizamos las calificaciones hechas por los diferentes departamentos de ingeniería y gerencias correspondientes a las propuestas técnicas. Organizamos las calificaciones en las computadoras en departamentos y gerencias, y a su vez cada departamento y gerencia se organizo por propuesta calificada. Nuestra última actividad con estas calificaciones hechas a las diferentes propuestas fue ponerlas todas con un solo formato de presentación e imprimirlas, para su organización en carpetas.



Revisé que las Bases de Licitación, perteneciente a la coordinación donde efectuó mis labores (Coordinación de Proyectos Termoeléctricos), contase con los mismos documentos y actualizaciones que las Bases de Licitación que la Gerencia de Construcción. Dentro de esta actividad completamos nuestras Bases de Licitación con estudios que no se tenían, y modificaciones en las secciones que como ya mencione formaban parte de las Bases de Licitación, también revisamos planos de ambas bases donde verificamos que en ambos se tratasen de los mismos.

Apoyé la realización de oficio para hacer una modificación a las Bases de Licitación, el cual se mando a la autoridad correspondiente para hacer dicha modificación sin tener ningún problema. En el oficio se mencionaba la información actual, y se describía la nueva o información, además de que anexe las hojas impresas a las cuales se efectuarían dichas modificaciones, acompañadas con otras aclaraciones de las mismas bases.

Apoyé la organización de la documentación que conforman el Contrato del proyecto Central Carboeléctrica CCE Pacífico para ser firmado por las autoridades correspondientes. La organización de esta documentación consistió en que verificamos las ultimas modificaciones de las Bases de Licitación, anexos, series de preguntas y respuestas, que como ya se menciona formaban parte del Contrato.

Esta organización también consistió en que realizamos las adecuaciones correspondientes para tener la documentación actualizada. Otra labor importante que realice fue que verifique las últimas revisiones de los planos para ser anexadas a las Bases de Licitación. Todos los anexos los organizamos en carpetas, y en cajas en la cual se incluyeron tres juegos de copias más. Todo lo anterior lo efectuamos para que sea antefirma por los correspondientes Jefes de Proyecto, y para posteriormente mandarlas a la firma del contrato con la empresa ganadora del proyecto, la cual resultó ser el Consorcio formado por Carboeléctrica Diamante S.A. de C.V. /Mitsubishi Corporation.

Entre otras actividades relacionadas con la Firma del Contrato del proyecto CCE Pacífico, fue que realizamos el llenado de los formatos de anexos que formaban parte del contrato, para que posteriormente se firmaran.

Otra labor fue que recopilamos información necesaria sobre falla en prueba de campo efectuada un by-pass en una turbina de vapor en la central Termoeléctrica de Ciclo Combinado el Sauz, la prueba consistió a grandes rasgos en verificar que a un rechazó de carga al generador eléctrico al 100%, el vapor que entraba a la turbina fuera rechazado en su totalidad por el by pass, además de que los condensadores tuvieran la capacidad de condensar todo ese vapor rechazado por el by-pass. Pero en la prueba realizada lo anterior no sucedió, ocurrieron ciertas fallas, en varios intentos por hacer la prueba. Por lo cual con la información que recopilamos la estudiamos para saber las posibles causas de falla de dicha prueba y que posteriormente discutimos con el Jefe de Proyecto. Así mismo estudiamos la información recopilada en campo por el personal de CFE, con los tiempos y eventos relevantes la cual también la discutimos.



A su vez asistimos a la reunión donde se discutieron con las áreas involucradas el por qué de las fallas a las pruebas. La reunión se llevo en la planta la cual se localiza en Querétaro. Mi labor consistió en tomar nota de la información importante y de los acuerdos tomados para solucionar esta problemática.

Apoyé a efectuar los reportes semanales de actividades relevantes de los proyectos termoeléctricos a cargo de mi jefe inmediato, los cuales son la Conversión de TG a CC el Sauz, C.T. Río Bravo III, C.T. Río Bravo IV y Proyecto 62 CCE Pacífico, en donde las principales actividades que reporté, fueron los aspectos más sobresalientes durante el periodo del informe, entre estos aspectos que se tienen contemplados en los proyectos son actividades en ingeniería, construcción, además de pendientes y actividades críticas. Los informes semanales los realicé en forma electrónica, cabe destacar que durante el periodo de estancia en el servicio social se entregaron ya los primeros tres proyectos terminados al organismo correspondiente, quedando pendiente el Proyecto 62 CCE Pacífico.

Regresando al proyecto CCE Pacífico realizamos la reorganización del Contrato, estando este ya firmado por las personas y áreas correspondientes. Empezamos a recopilar todos los documentos que forman parte del contrato pero ahora en forma electrónica, con las ultimas modificaciones, y tomando como base la información que enviamos impresa. Verificamos que la información en forma impresa fuese exactamente igual a la que organizamos en forma electrónica. Los documentos que forman parte del Contrato y que organizamos en forma electrónica fueron 23 anexos, en los cuales uno de ellos, (Anexo 2), son las Bases de Licitación, y las preguntas y respuestas hechas durante la licitación desde el año 2003 hasta el 2005.

Entre los documentos que forman parte del contrato y que organizamos en forma electrónica fueron las Bases de Licitación, que una vez firmado el Contrato serán consideradas como las Especificaciones Técnicas del mismo y los demás anexos. Esta información la guardamos en una sola carpeta que le nombramos Contrato.

Otra labor que realizamos fue continuar con el control de la evaluación técnica hecha por los Departamentos a las Propuestas Técnicas. En esta organización verificamos que dicha evaluación técnica estuviese actualizada y sin errores importantes. Para el caso de errores, discutimos estos con el Jefe de Proyecto, y posteriormente se imprime, se envía a antefirmar con el área correspondiente, se recibe y de sustituye por el erróneo. Esta actividad demoro mucho porque la evaluación técnica hecha por los departamentos en algunos casos era muy tardado, y por lo tanto esta actividad la realizamos por partes. Dependiendo de cómo llegara la información a nuestras manos.

En cuanto a las Especificaciones Técnicas, recopilamos la información que ya se encontraba en forma electrónica organizada en 14 ademdums, dicha información (8 Secciones) la organizamos idénticamente como se firmó en el Contrato, dentro de estas Especificaciones se encontraba la sección 8.18 (Anexos), en la cual se encuentra una serie de planos correspondientes al Proyecto CCE Pacífico en archivos de autocad, los cuales tuvimos que añadir a las bases, en algunos casos como los planos no se tenían en forma electrónica se escanearon, para añadirlos.



También anexé los estudios sobre resolución de impacto ambiental realizados antes de la construcción del Proyecto.

Lo mismo realicé con la serie de preguntas y respuestas hechas durante la licitación, recopilé la información que se tenía en forma electrónica, y la organicé tal como se encuentra en forma impresa en el Contrato.

Lo anterior lo realicé con los demás anexos del Contrato, en algunos casos los anexos que se tenían en forma electrónica se encontraban tal como en el Contrato, por lo que nuestra labor fue solamente organizarlos electrónicamente en carpetas, pero en algunos casos se tuvieron que completar. La información que no se tenía electrónicamente se indicó en un archivo electrónico, colocando la referencia del impreso.

Esta información se guardó en una sola carpeta con nombre Contrato, la cual grabamos en CD para posteriormente repartirla a los integrantes del Proyecto, CFE Operación y a la Residencia de Obra (en sitio).

Apoyé a realizar la organización de la documentación básica, para los pasos a seguir después de la Firma del Contrato, esta organización, consistió en la realización de unos cuadernillos con información fundamental del Proyecto para repartir a las áreas correspondientes.

Con motivo de la construcción del Proyecto CCE Pacífico, realizamos una visita técnica a la Central Termoeléctrica C.T. Pdte. Plutarco Elías Calles "Petacalco", ubicada en Petacalco, Guerrero, en donde tuvimos reunión con el personal de la Residencia de Construcción y de la Gerencia de Operación por parte de CFE y con personal del contratista (Mitsubishi), con el objetivo de acordar y establecer asuntos referentes a la construcción de dicho proyecto. Entre los asuntos más importantes a tratar fueron los puntos de interconexión entre las unidades existentes y la nueva unidad, la revisión de los equipos existentes, así como sus fallas más recurrentes para obtener información importante para que sea tomada en cuenta por el contratista para el diseño de la nueva unidad.

El día 24 de enero de 2006 realizamos una visita técnica por todo el sistema externo de manejo y transporte de carbón y ceniza, visitamos el área del Patio Triangular, el nuevo Patio de Ceniza Zona Sur, y finalmente el patio de almacenamiento de carbón, y reconocer el Apilador Radial de carbón, donde se tuvieron las siguientes observaciones:

Ubicamos la Torre de Transferencia TT-7 CEN en donde se harán las modificaciones para enviar la ceniza proveniente de la planta al Patio de la Zona Sur.

Observamos el Sistema de Apilamiento de Ceniza con lo cual se pueden ver claramente la problemática de éste sistema y por ello la molestia de los habitantes del lugar y los gastos de operación por lo que han planteado el uso del apilador articulado para evitar dichos problemas.



Siguiendo con el recorrido, llegamos a lo que será el nuevo Patio de Cenizas Zona Sur, Etapa I en donde se pudo observar el predio y lo que se encuentra en y el representante de Mitsubishi hizo hincapié en el área de protección ambiental sobre todo en un manglar que se encuentra en los límites del predio, lo cuál se tiene que verificar, ya que si es así se tiene un gran problema para la construcción de dicho patio puesto que el manglar se puede contaminar en el proceso de construcción.

El día 25 de enero de 2006 realizamos una visita técnica dentro de las instalaciones de la planta Central Termoeléctrica C.T. Pdte. Plutarco Elías Calles "Petacalco", con el objetivo de reconocer los puntos de interconexión, observar los puntos críticos de los equipos, y reconocer equipos donde se presentan problemas continuos.

También reconocimos el sitio donde se construirá la nueva unidad y las instalaciones a desmantelar (taller de pailería y tanques de almacenamiento de combustóleo).

En general se tuvieron las siguientes observaciones:

Se ubicaron las fugas en los sellos de los pulverizadores de carbón, donde son frecuentes en las unidades U3, U4, U5, y U6 de la planta, las cuales fueron construidas por Mitsubishi y se le hizo notar a su representante dicha falla.

Observamos la fuga de agua de enfriamiento del sistema de ceniza de fondo la cual es bastante grande y se observó que parte de la carcasa de la caldera ya presenta un calentamiento en dos pequeños tramos debido a que se cayó el aislante térmico en esa zona.

Ubicamos el punto de interconexión PT-11 Vapor Auxiliar en la Unidad 6 y se dijo que la dirección de la tubería de interconexión del vapor será responsabilidad del Contratista (Mitsubishi) sin que afecte a la unidad existente.

La Gerencia de Operación pidió que los perfiles de las mallas de las canastas de los precipitadores electrostáticos fueran con nuevas tecnologías puesto que los actuales son bastantes antiguos y su eficiencia no es tan buena ya que tienen que estar destapándolos con agua a presión y para ello tienen que desmontar las mallas con lo cual la operación del sistema es deficiente además que antes de realizar lo último tienen que bajarle la carga a la caldera y por consiguiente al ciclo con lo cual baja la eficiencia ya que tienen que parar la unidad por completo, por lo que solicita que los nuevos precipitadores electrostáticos para la nueva unidad sean con perfiles más actuales y así evitar lo anterior.

La Gerencia de Operación manifestó la problemática que se tiene en las válvulas de alivio de alta presión y media presión de la caldera puesto que las han tenido que cambiar y no saben el porqué de la falla y pide que se solucione ese problema para la nueva unidad.

Localizamos el punto de interconexión PT-02 Sistema de Carbón al final de la banda de suministro de carbón de la Unidad 6 y el personal de Techint por parte de



Mitsubishi mencionó las modificaciones al sistema descritas en su Propuesta Técnica presentada a CFE.

Se observó el predio donde se construirá el Proyecto Pacífico y observamos las instalaciones que serán afectadas para dicho proyecto como será la demolición de la fosa de neutralización existente y la construcción de una nueva, el desmantelamiento de los tanques de almacenamiento de combustóleo y las modificaciones de las tuberías para el suministro del combustóleo para las unidades existentes. Se acordó que la Residencia de Obra revisará que no haya ninguna instalación subterránea existente en el predio del Proyecto que afecte a la planta.

Ubicamos el punto de interconexión PT-09 Suministro de Agua Desmineralizada en donde se presentó una controversia puesto que en la Propuesta Técnica menciona que se construirá una planta de osmosis inversa por lo cual CFE debe entregarle agua cruda para que la trate y no se entiende si esto va a ser así o sólo instalarán un tanque de agua desmineralizada en dicho punto.

Encontramos el punto de interconexión PT-05 Suministro de Combustóleo en donde se discutió acerca si es de combustóleo o de diesel puesto que éste será para la nueva unidad y ésta utilizará para el arranque diesel por lo que no es congruente con el objetivo del punto. La dirección de la tubería para el suministro de combustible correrá a cargo de Mitsubishi sin que afecte a las instalaciones existentes.

Localizamos el punto de interconexión PT-03 Sistema de Ceniza al final de la Unidad 6 y el personal de Techint (Subcontratista por parte de Mitsubishi) mencionó las modificaciones al sistema descritas en su Propuesta Técnica presentada a CFE.

Realizamos un recorrido por donde será el acceso para la construcción hacia la planta y se confirmó que hay obstrucciones aéreas ya que los cables del servicio telefónico y eléctrico están muy bajos de altura por lo que cuando pasen por ahí vehículos grandes se corre el riesgo que se lleven los cables por lo que Mitsubishi tiene que ver la reubicación de dichos cables para que no afecte a la comunidad que se encuentra en el camino de acceso a la planta, de igual forma tiene que verificar si el camino y dos pequeños puentes soportan vehículos pesados.

Realizamos un recorrido por la Subestación de Potencia Lázaro Cárdenas y en el trayecto se observó que una torre de transmisión tendrá que modificarse puesto que interfiere con las instalaciones de la nueva unidad y se ubicó el taller de pailería, el cual será desmantelado para la construcción del Proyecto Pacífico.

Ya en la subestación ubicamos el lugar donde estará la nueva bahía de 400 kV, el área para autotransformador 400/230 kV y buses de reserva y la bahía de 230 kV para autotransformador.

En el recorrido de la visita nuestra labor fue la recopilación de información, así como la toma de fotografías de los equipos, puntos de interconexión, así como del sitio donde se construirá el proyecto, que comprende la instalación de la unidad 7 y la construcción del nuevo Patio de Ceniza Zona Sur.



Asistí a la reunión de inicio del proyecto CCE Pacífico donde participaron personal de Mitsubishi, Techint (Subcontratista) y personal del proyecto CFE en donde se aclararon los aspectos relativos a actividades anteriores y posteriores al inicio de la construcción del proyecto, entre los temas a tratar fueron; el procedimientos de coordinación entre CFE y la empresa Mitsubishi, rutas de correspondencia, formato, enumeración de planos y cartas, ponderación del porcentaje de avance en obras, permisos, financiamiento, resolución de cuestionarios ambientales para obtener financiamiento, entrega de la matriz de compromisos contractuales del proyecto, servicios para construcción y operación como son electricidad y vapor auxiliar, entrega del sitio de construcción, programa de construcción por parte de Mitsubishi, programa de entrega de información técnica, programa de inspección y pruebas en fabrica. Todos estos aspectos se trataron para que exista una buena coordinación entre constructor (Mitsubishi) y cliente (CFE) y el proyecto se lleve a cabo sin tener ninguna dificultad.

Como los temas tratados fueron muy amplios dicha reunión se dividió en dos. Mi labor en la primera fue tomar nota de los acuerdos alcanzados y temas a aclarar y escribirlos electrónicamente en una minuta para ser revisados; en la segunda parte de la reunión, se comentaron los acuerdos alcanzados en la primera reunión y se tomó nota de los comentarios hechos por el personal de Mitsubishi, así mismo se terminaron de tratar los temas faltantes y los temas que se habían quedado inconclusos, los cuales fueron reflejados en la minuta en la minuta. Una vez que se terminó la junta se revisó la minuta por el Jefe de Proyecto, se leyó ante el personal asistente todos estuvieron de acuerdo rubricando el documento todos los asistentes.

Con el objeto de obtener financiamiento requerido para la construcción del proyecto por parte de Mitsubishi, se respondió por parte de CFE un cuestionario ambiental hecho por los bancos japoneses en donde se preguntaban los aspectos ambientales referidos a la construcción del Proyecto. Nuestra labor en este cuestionario fue recopilar en un solo documento los cuestionarios que fueron respondidos por personal de CFE (Operación, Departamento de Protección Ambiental, Jefatura de Proyecto y Construcción) y posteriormente ser enviado a la empresa Mitsubishi.

Apoyé la terminación de la Matriz de Compromisos Contractuales del proyecto CCE Pacífico, la cual contemplará los compromisos que tiene el constructor del Proyecto (Mitsubishi), con su cliente CFE, acordados en el Contrato. Esta matriz debe indicar cuando un compromiso este a punto de cumplirse según el contrato firmado, o cuando ya se halla cumplido. El Objetivo de esta matriz es hacer cumplir los compromisos, es decir que cuando un compromiso ya este por cumplirse, se mande a Mitsubishi una carta con el recordatorio del compromiso y así se siga al pie de la letra el Contrato.

La Matriz de Compromisos Contractuales contempla la etapa de la Licitación, Firma del Contrato, fechas de eventos críticos y fechas clave (las cuales están sujetas a penalizaciones por días de retraso, los compromisos contractuales, compromisos de calidad, obtención de seguros, inspecciones, pruebas a equipos y materiales, penalizaciones por valores garantizados, entrega de información técnica requerida, programas de construcción, así como los reportes mensuales en la etapa de construcción, todos estos compromisos se tienen que cumplir por la empresa Mitsubishi como lo indica el Contrato.



Mi trabajo en la realización de esta Matriz fue revisar la Matriz de Compromisos e ir adicionando compromisos faltantes según el Contrato con sus respectivas fechas, en el caso de las Penalizaciones por valores garantizados, en lugar de fecha se colocaba el valor neto garantizado. La matriz se elaboró en hoja electrónica. Dentro de esta Matriz de Compromisos también elaboré la serie de fórmulas para que el programa indicara automáticamente en los compromisos con mayor a 10 días como pendientes, cuando el compromiso este dentro de los 10 días a cumplirse marque en anaranjado que ya está a punto de cumplirse, y finalmente cuando se cumpla el plazo marque alarma en color rojo. Cuando los compromisos se entreguen a tiempo el programa marcará OK y se pondrá como evidencia el nombre del documento con el que llego al Proyecto.

Finalmente realicé una última revisión de fechas en las cuales Mitsubishi tenia comentarios, las cuales verifiqué y realicé mis comentarios, para que posteriormente se discutiera entre personal de Mitsubishi y CFE Proyecto para establecer la ultima versión de esta Matriz de Compromisos Contractuales.

Apoyé a la realización de la Matriz de Condicionantes Ambientales, la cual establece los compromisos que se deben seguir y cumplir a lo largo del proyecto de acuerdo a un resolutivo de impacto ambiental realizado por la SEMARNAT, es decir, la Matriz establece los compromisos ambientales que tiene CFE conjuntamente con Mitsubishi con las autoridades ambientales. Dicha Matriz de compromisos se dividió en dos partes fundamentales, los aspectos relacionados a la Central Termoeléctrica y la otra a lo relacionado con el Patio de Cenizas.

En cuanto al Patio de Cenizas añadimos a la matriz los compromisos a seguir que se encontraban dentro de las tres primeras condicionantes ambientales de la resolución de impacto ambiental, entre los que se encontraban los siguientes eventos con sus respectivas fechas a cumplir: Reportes de Vigilancia Ambientales, Programas y Reporte de rescates de las especies de Flora y Fauna Silvestre, Programas y Reportes anuales de forestación y/o reforestación y compensación de las áreas afectadas, Programas y Reportes anuales de Monitoreo de aguas residuales. Finalmente añadimos los informes de inicio y conclusión del Proyecto.

La otra parte que incluimos en la Matriz fueron los aspectos ambientales relacionados a la construcción de la Planta, entre los que se encontraba las siguientes fechas y eventos: el informe de inicio y la conclusión de la obra a la Delegación Federal de la PROFEPA en el Edo. de Guerrero, así como Reportes semestrales de Vigilancia Ambientales.

El funcionamiento de esta Matriz de condicionantes Ambientales es igual que la Matriz de Compromisos contractuales. En el programa añadí las formulas que hiciera que la matriz indicara automáticamente en los condicionantes con mayor a 10 días a cumplirse como pendientes, cuando el compromiso esté dentro de los 10 días a cumplirse, marque en anaranjado que ya está a punto de cumplirse, y finalmente cuando se cumpla el plazo marque alarma en color rojo. Cuando los condicionantes se entreguen a tiempo el programa marcará OK y se pondrá como evidencia el nombre del documento con el que se envió.



Terminamos la realización del Cuadernillo de Información Básica del Proyecto CCE Pacífico, en el cual incluimos varios documentos entre los que se encontraba: la estructura de la documentación en las computadoras organizada mediante un cuadro sinóptico, Índice de Archivo de documentación que sale y se recibe, la matriz de Compromisos Contractuales, la Matriz de Reporte aplicables del Proyecto en el cual mencionamos el tipo de reporte, la periodicidad, la fecha de entrega, las observaciones y comentarios, además de la(s) persona(s) que será responsable de realizarlo. Otro documento que incluimos en el Cuadernillo fue el Plan de Calidad, el cual establece y describe el sistema de Gestión de Calidad para las etapas del proyecto en el ámbito de responsabilidad de la Gerencia Técnica de Proyectos Termoeléctricos.

Asistí a la reunión que se llevó a cabo con personal del Proyecto en donde se dió a conocer la organización de la información durante la construcción del Proyecto, en esta se entrego a cada personal del proyecto el Cuadernillo de Información Básica.

Otra labor que realicé fue apoyar a realizar el Control de Planos del Proyecto en la cual mi labor fue que a partir de un control de planos existente, hacerle modificaciones para que se adecuara a las condiciones del Proyecto Pacífico, algunas modificaciones se realizaron basándose en lo acordado en una reunión entre el personal del Proyecto, Todo esto se realizó para que no se tuviese ningún problema en el manejo de los planos de construcción que posteriormente estarían llegando para su revisión.

Otra de mis actividades que realicé fue la revisión de una documentación que presentaba una propuesta técnica de un sistema alternativo de apilamiento en el nuevo Patio de Ceniza, que tiene por objetivo eliminar las problemáticas operativas del sistema de apilamiento propuesto en el Contrato. Este sistema funcionara con 7 apiladores móviles que formara una pila de 15 m de alto por uno 560 m de corona o radio que se extenderá 2000 m de largo, dicho sistema de apilamiento de ceniza eliminara el uso de camiones para la disposición final de ceniza, de tal manera que se reduzca el manejo de la ceniza a un solo movimiento de conformación para dejarla en su disposición final.

Mi labor en esta revisión fue entender el sistema y posteriormente ver las posibles limitaciones reales de funcionamiento de este sistema para ser comentadas posteriormente. También busqué otros sistemas de apilamientos similares que estuviesen en el mercado y presentar un reporte de estos, porque todavía no se sabe que sistema se implementara en el nuevo patio de ceniza.



CONCLUSIONES

Resultados obtenidos en beneficio de la sociedad.

Apoyé a realizar actividades técnicas anteriores a la construcción de la Central Carboeléctrica “CCE Pacífico”, la cual proveerá de 651.16 MW de energía eléctrica, y estará funcionando en el año 2010, solucionando el incremento de la demanda de energía eléctrica del país.

Resultados obtenidos en la formación profesional.

Desarrollo en áreas de trabajo profesional, adquisición de conocimientos sobre Procesos de Evaluación y Construcción de Proyectos, conocimientos sobre funcionamiento básico de Centrales Carboeléctricas, Sistemas de Manejo de Carbón y Ceniza además conocimientos adicionales de herramientas de Office.

Conclusiones, recomendaciones, comentarios, quejas, etc.

Puedo decir que se cubrieron los objetivos mencionados al inicio de este reporte, pienso que participar o colaborar en un proyecto como fue el Proyecto “CCE Pacífico” me pareció muy interesante, aprendí conceptos y formas de trabajo que nunca hubiese aprendido en una aula, esta experiencia que adquiriré espero aplicarla en mi posterior vida profesional.



ANEXO 2.- ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN CFE POR

RODRÍGUEZ NERI CARMEN RAÚL



ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE)

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se describen las actividades más relevantes realizadas en la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en el periodo que he trabajado en esta Institución, es decir, del 4 de septiembre de 2006 a la fecha (septiembre de 2007).

Descripción de la Empresa

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es la empresa que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica para 24.8 millones de clientes, lo que representa casi 80 millones de mexicanos.

La generación de energía eléctrica en la Comisión Federal de Electricidad se realiza en Centrales Hidroeléctricas, Termoeléctricas, Eólicas y Nuclear.

Un compromiso de la empresa es ofrecer servicios de excelencia, garantizando altos índices de calidad en todos sus procesos, al nivel de las mejores empresas eléctricas del mundo.

En 1937, México tenía 18.3 millones de habitantes, de los cuales, únicamente siete millones (38%) contaban con servicio de energía eléctrica, proporcionado con serias dificultades por tres empresas privadas. La oferta no satisfacía la demanda, las interrupciones de luz eran constantes y las tarifas muy elevadas.

Para dar respuesta a esas situaciones que no permitían el desarrollo económico del país, el Gobierno federal decidió crear, el 14 de agosto de 1937, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), que en una primera etapa se dio a la tarea de construir plantas generadoras para satisfacer la demanda, y con ello beneficiar a más mexicanos mediante el bombeo de agua de riego, el arrastre y la molienda; pero sobre todo, con alumbrado público y para casas habitación.

En 1938, la empresa tenía apenas una capacidad de 64 kW, misma que, en ocho años, aumentó hasta alcanzar 45,594 kW. Entonces, las compañías privadas dejaron de invertir y CFE se vio obligada a generar energía para que éstas la revendieran.

En 1960, de los 2,308 MW de capacidad instalada en el país, CFE aportaba 54%; la Mexican Light, 25%; la American and Foreign, 12%, y el resto de las compañías, 9%. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de generación y electrificación, para esas fechas apenas 44% de la población contaba con electricidad. Tal situación del Sector Eléctrico Mexicano motivó al entonces Presidente Adolfo López Mateos a nacionalizar la industria eléctrica, el 27 de septiembre de 1960.

A partir de entonces, se comenzó a integrar el Sistema Eléctrico Nacional, extendiendo la cobertura del suministro y acelerando la industrialización del país. Para ello, el Estado mexicano adquirió los bienes e instalaciones de las



compañías privadas, mismas que operaban con serias deficiencias, por la falta de inversión y los problemas laborales.

Para 1961, la capacidad total instalada en el país ascendía a 3,250 MW. CFE vendía 25% de la energía que producía y su participación en la propiedad de centrales generadoras de electricidad pasó de cero a 54%. En poco más de 20 años, CFE cumplió uno de sus más importantes cometidos: ser la entidad rectora en la generación de energía eléctrica. En esa década, la inversión pública se destinó en más de 50% a obras de infraestructura. Con parte de estos recursos se construyeron importantes centros generadores, entre ellos los de Infiernillo y Temascal. En esos años se instalaron plantas generadoras por el equivalente a 1.4 veces lo hecho hasta entonces, alcanzando, en 1971, una capacidad instalada de 7,874 MW.

Al finalizar los 70, se superó el reto de sostener el mismo ritmo de crecimiento, al instalarse entre 1970 y 1980 centrales generadoras por el equivalente a 1.6 veces, para llegar a una capacidad instalada de 17,360 MW. En la década de los 80, el crecimiento fue menos espectacular, principalmente por la disminución en la asignación de recursos. No obstante, en 1991 la capacidad instalada ascendía a 26,797 MW.

Debe señalarse que CFE definió y unificó los criterios técnicos y económicos del Sistema Eléctrico Nacional, normalizando los voltajes de operación, con la finalidad de estandarizar los equipos, reducir sus costos y los tiempos de fabricación, almacenaje e inventariado. Luego, unificó la frecuencia a 60 hertz en todo el país e integró los sistemas de transmisión, en el Sistema Interconectado Nacional.

Actualmente, la capacidad instalada en el país es de 49,834 MW*, de los cuales 44.79% corresponde a generación termoeléctrica de CFE; 22.99% a *productores independientes de energía (PIE); 22.16% a hidroelectricidad; 5.22% a centrales carboeléctricas; 1.93% a geotérmica; 2.74% a nucleoelectrica, y 0.17% a eoloeléctrica.

Al cierre del mes de junio de 2007, la CFE contó con una capacidad efectiva instalada para generar energía eléctrica de 49,834.29* Megawatts (MW), de los cuales: 11,456.90 MW son de productores independientes (termoeléctricas); 11,044.98 MW son de hidroeléctricas; 22,322.56 MW corresponden a las termoeléctricas de CFE; 2,600.00 MW a carboeléctricas; 959.50 MW a geotermoeléctricas; 1,364.88 MW a la nucleoelectrica, y 85.48 MW a la eoloeléctrica.



DESCRIPCIÓN DEL PUESTO

PERFIL DEL PUESTO

Debe tener formación como Ingeniero Mecánico, Ingeniero Mecánico-Eléctrico, con una sólida formación y conocimientos en Áreas de Diseño Mecánico, Plantas de conversión de Energía, Diseño de Procesos, Sistemas de Ahorro de Energía, Sistemas de Mejoramiento Ambiental, Máquinas Térmicas, Tecnología de Materiales que le permitirán desempeñarse eficientemente en el centro de trabajo cuyo objetivo sea el uso racional de energía y los procesos de manufactura, así como el mejoramiento de su competitividad mediante el diseño en Ingeniería Mecánica.

Asimismo, deberá estar capacitado para:

- Adaptarse con creatividad e imaginación a los cambios de vida y profesionales.
- Dirigir e integrar grupos de trabajo.
- Planear los impactos económicos, sociales y ambientales en el desarrollo de proyectos.
- Comunicarse y concertar con otros profesionistas, así como integrar y dirigir equipos interdisciplinarios de trabajo, adoptando una actitud emprendedora, de liderazgo, comprometida y responsable.

FUNCIONES A DESARROLLAR

- a) Revisión del Programa de Ingeniería del Consorcio.
- b) Revisión del Programa de Suministros.
- c) Revisión del Libro de Anteproyecto.
- d) Revisión de las Memorias de Cálculo.
- e) Revisión de los Dibujos de Diseño (DTI's).
- f) Seguimiento del Programa de Ingeniería del Consorcio para verificar que se cumpla, y en su caso, solicitar al Consorcio que corrija las actividades con atraso.
- g) Envío al Departamento de Ingeniería correspondiente, así como su seguimiento, los documentos de Ingeniería, Memorias de Cálculo y Dibujos de Diseño (DTI's) seleccionados por los Departamentos de Ingeniería para su revisión.
- h) Seguimiento sistemático a las "No Conformidades" detectadas en las revisiones indicadas de a) a g), hasta su cierre total.



DESCRIPCIÓN DEL PUESTO EN CFE

El puesto desempeñado en CFE es el de Ingeniero Mecánico, el cual forma parte del Área Mecánica responsable del Proyecto CCE Pacífico.

El Área Técnica responsable de un Proyecto, en este caso Mecánica, tiene la responsabilidad de revisar los documentos técnicos del Consorcio, así como definir la participación de las áreas técnicas revisoras (Departamentos de Ingeniería) y concentrar sus comentarios.

De acuerdo al Alcance del Proyecto CCE Pacífico y en función del programa de ejecución y fechas de eventos críticos se ha considerado conveniente dividir el Proyecto CCE Pacífico en 2 fases bien determinadas:

1ª. Fase.- Depósito de Ceniza

2ª. Fase.- Central Carboeléctrica

Para la 1ª Fase se contará con el personal indicado en el Organigrama para el Depósito de Ceniza. La fecha de terminación de ésta fase será a más tardar el 1º de febrero de 2007, de acuerdo al Contrato PIF-030/2005.

Para la 2ª Fase, que corresponde a la ejecución de la Central de Generación, se contempla el personal señalado en el Organigrama para la Central. Las actividades en esta etapa darán inicio oficialmente a partir del 31 de mayo de 2006, cuya fecha de terminación se tiene contemplado el 1º de febrero de 2010.

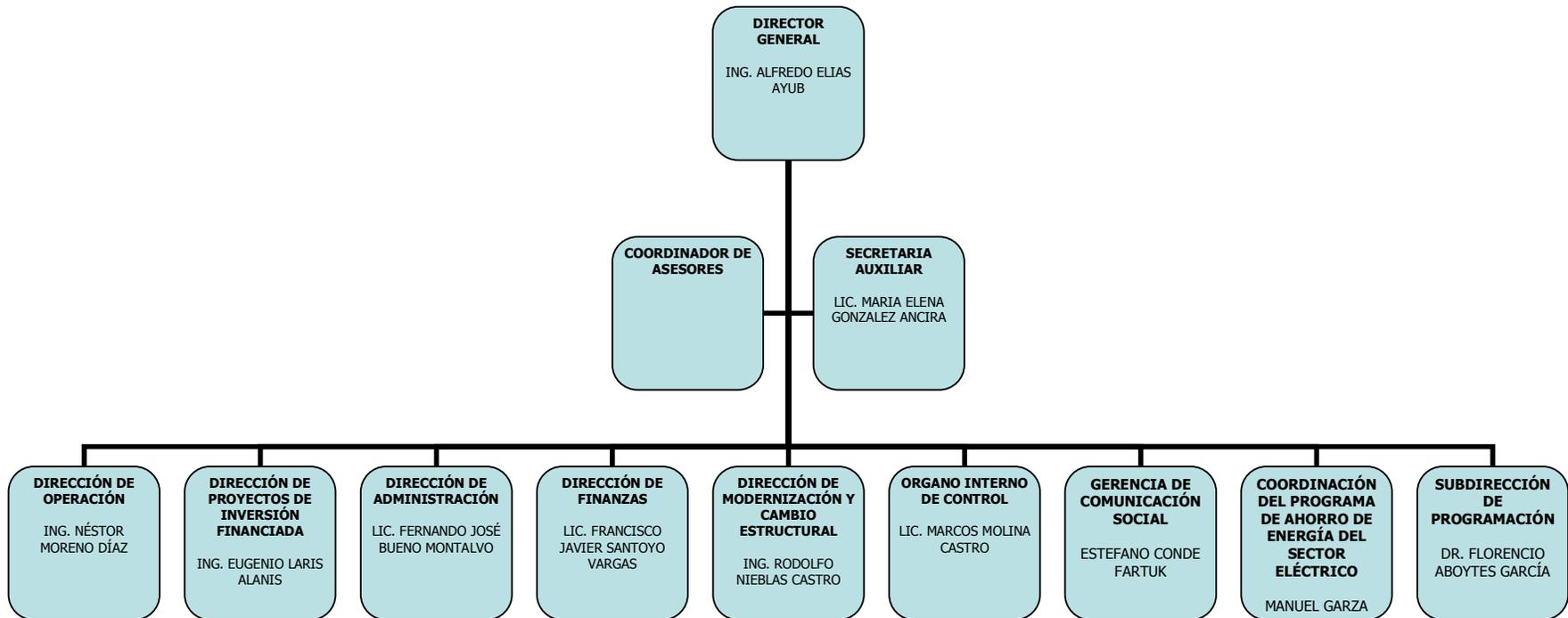
A continuación se muestran los organigramas en los cuales se puede ver la estructura orgánica de la Comisión Federal de Electricidad, abarcando desde el Director de la misma hasta la organización del Proyecto CCE Pacífico.



ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN

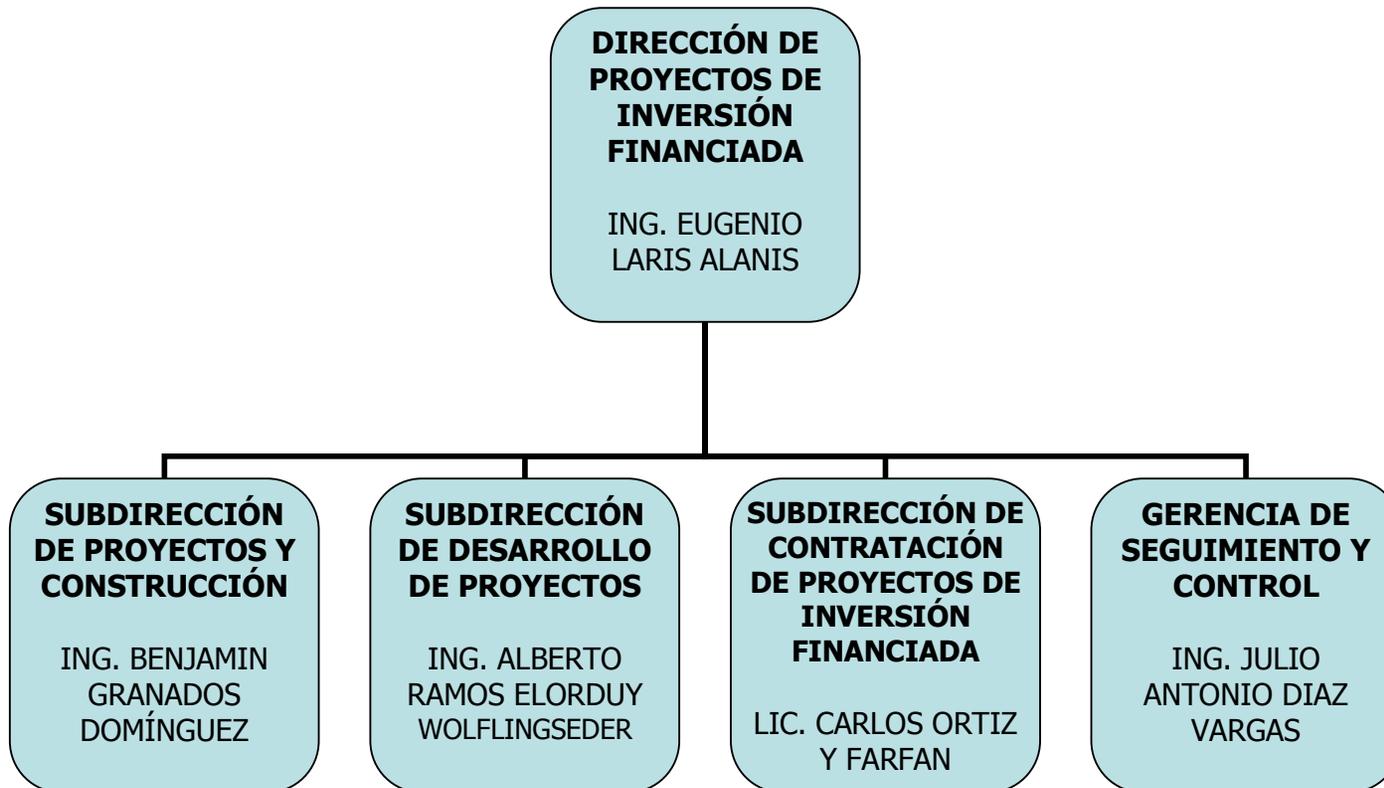


ORGANIZACIÓN DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE)



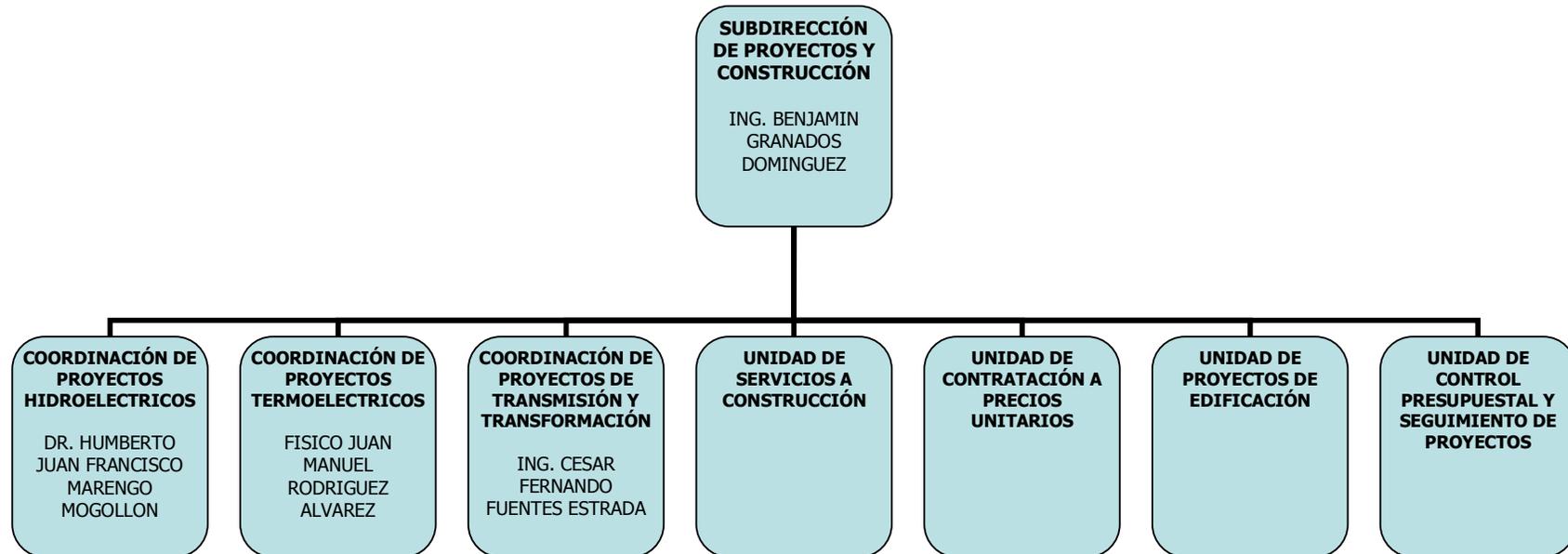


ORGANIZACIÓN DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE)



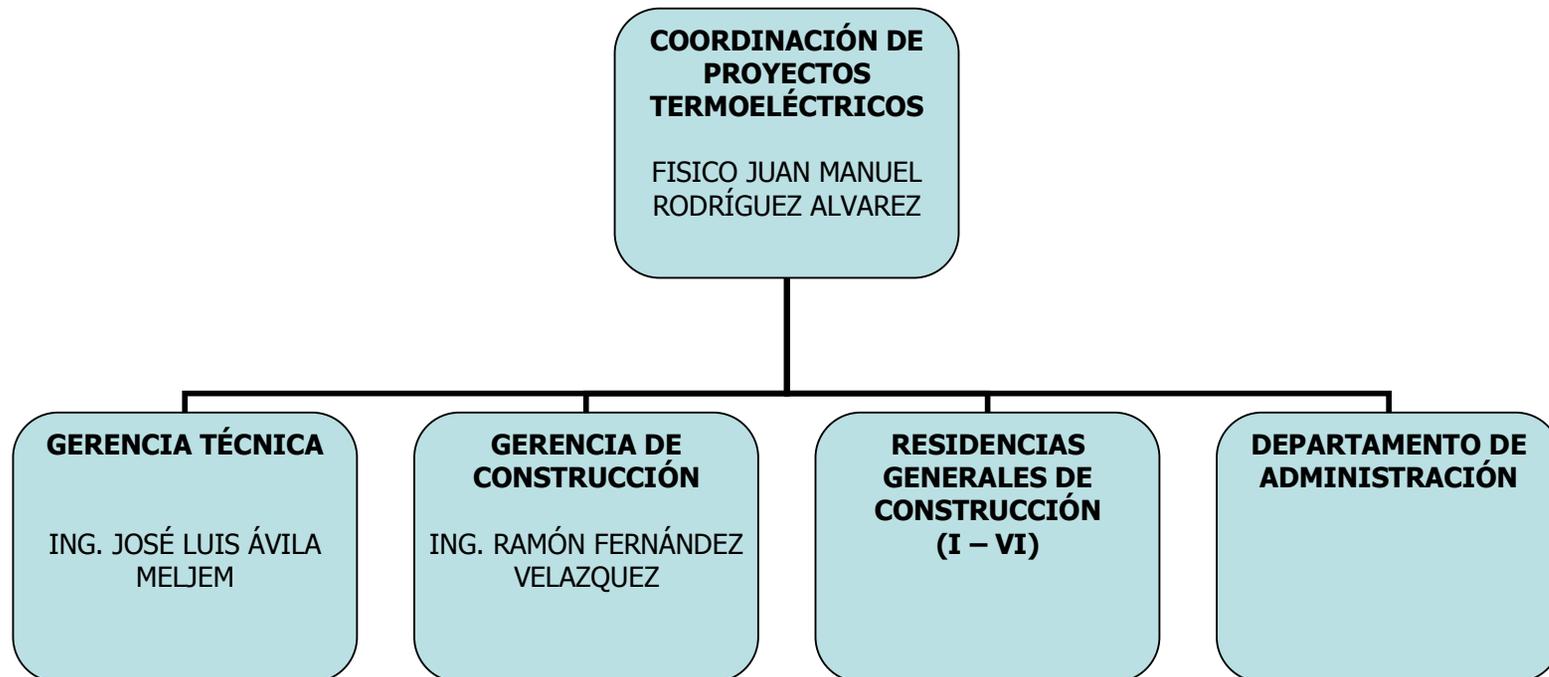


ORGANIZACIÓN DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE)



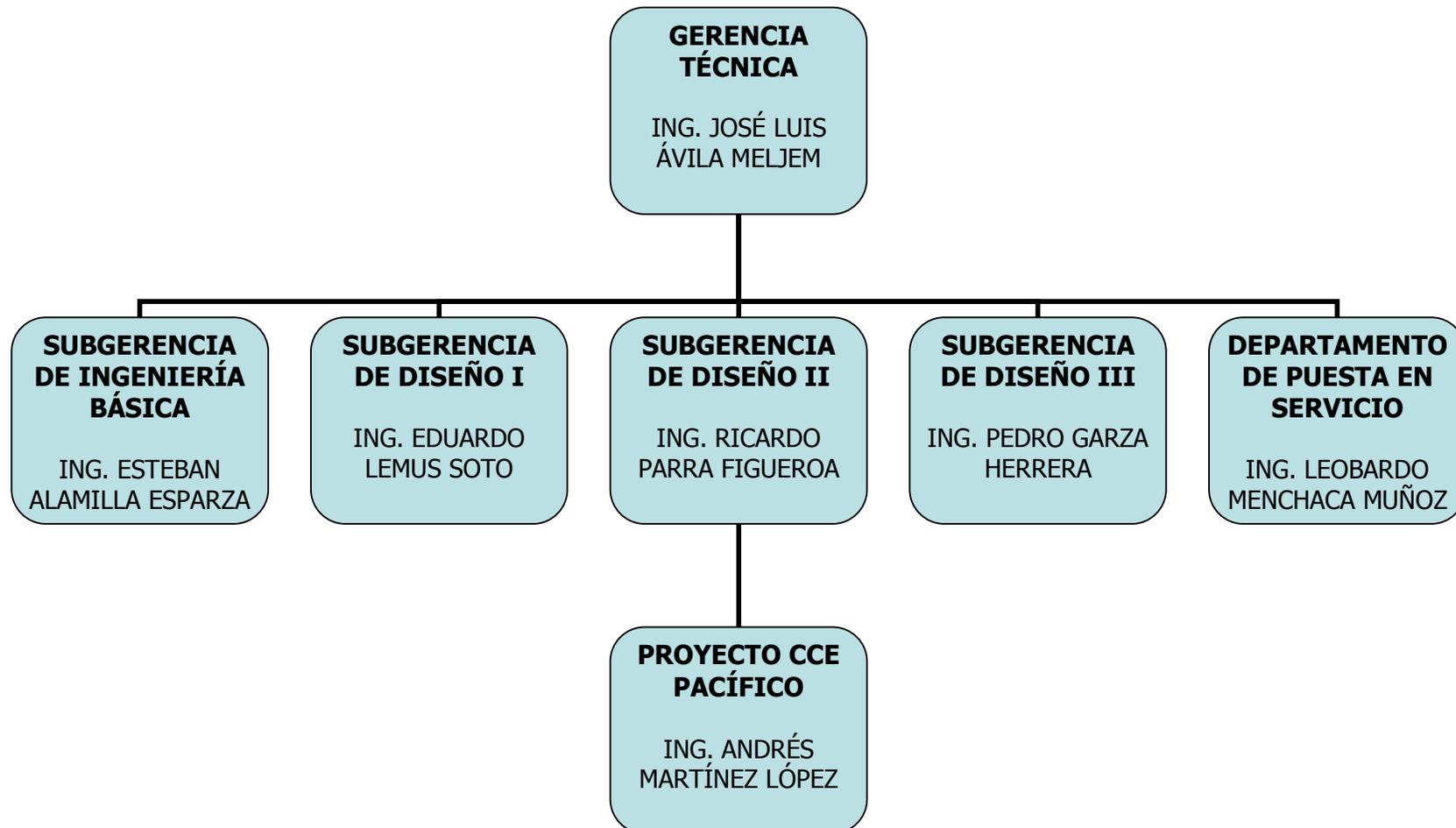


ORGANIZACIÓN DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE)



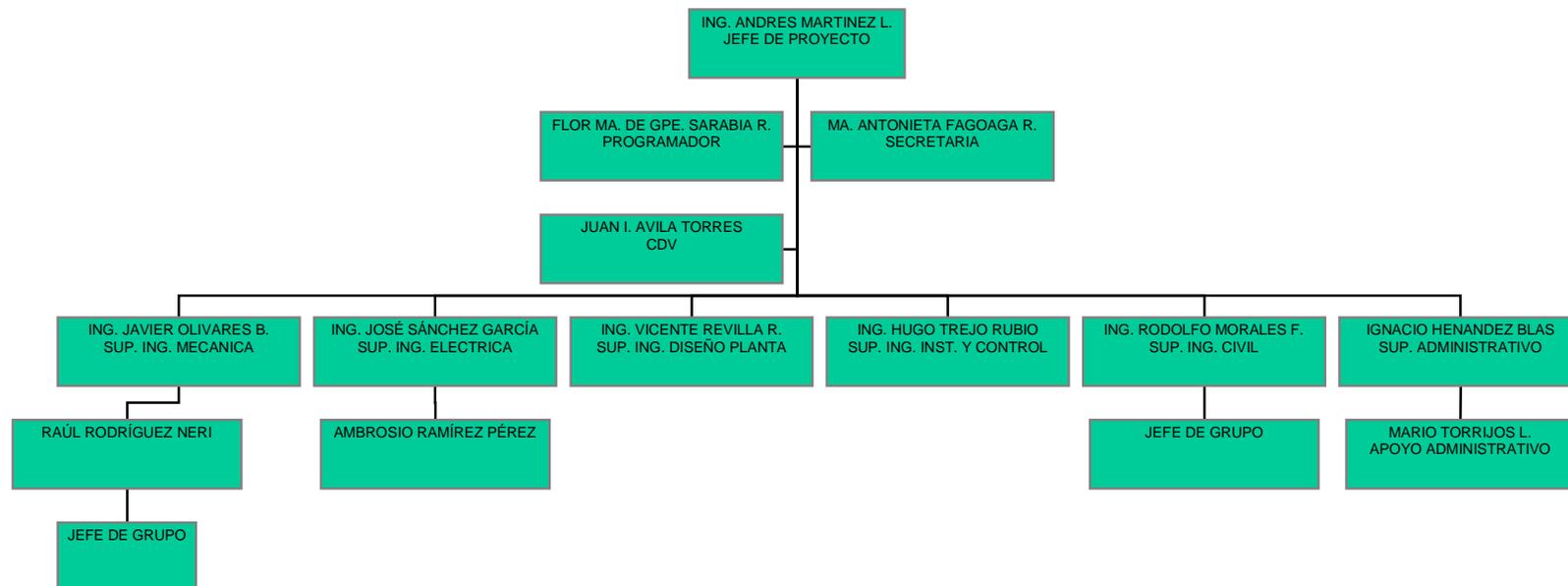


ORGANIZACIÓN DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE)





ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO 62 CCE PACÍFICO CENTRAL CARBOELÉCTRICA





ACTIVIDADES DESARROLLADAS

REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN

El Consorcio formado por Carboeléctrica Diamante S.A. de C.V./ Mitsubishi Corporation, que desde ahora llamaremos sólo Consorcio, se obliga a entregar sin ningún costo adicional para la Comisión la información requerida en el Anexo 5 del Contrato PIF-030/2005, de manera oportuna para permitir que la Comisión se asegure que el equipo, su instalación y la construcción de la Central CCE Pacífico están siendo suministrados de acuerdo al alcance de la Propuesta y a las Especificaciones Técnicas de la Comisión Federal de Electricidad, que a partir de ahora llamaremos sólo Comisión.

Esta información no es limitativa y la Comisión podrá solicitar información complementaria (sin ningún cargo adicional) para la correcta revisión y supervisión de las fases de ingeniería, preparación del Sitio, Construcción, Pruebas y Puesta en Servicio del Proyecto.

Los documentos deben entregarse invariablemente en idioma español, a excepción de los catálogos y documentación estándar de los fabricantes, los certificados y/o reportes de pruebas en fábrica que podrán entregarse en idioma inglés.

La Comisión revisará la información proporcionada verificando principalmente que sea consistente con las Especificaciones Técnicas y con la Propuesta. La Comisión enviará al Consorcio los comentarios que resulten de su revisión a más tardar 30 (treinta) días después de la recepción de la información correspondiente en las oficinas del Proyecto. Para la revisión del Libro de Anteproyecto los comentarios se enviarán a más tardar 45 (cuarenta y cinco) días después de la recepción de la información correspondiente en las oficinas del Proyecto.

El Consorcio se obliga a considerar oportunamente los comentarios que indique la Comisión o en caso contrario debe proporcionar una explicación técnica satisfactoria del porqué no se consideran, a más tardar en 30 (treinta) días después de haber recibido los comentarios.

Los documentos que incluyan comentarios por parte de la Comisión serán devueltos al Consorcio y este volverá a enviarlos a la Comisión con los comentarios incorporados para verificación por parte de la Comisión a más tardar dentro del plazo establecido en el párrafo anterior.

El último envío sin comentarios y con las modificaciones en el proceso de la obra o fabricación deberá emitirse con el sello "tal como se construyó".

Todos los dibujos y diagramas deben entregarse en el tamaño que se indica en la sección 8.7.5.1 "Requerimientos de Dibujo", de las Especificaciones Técnicas del Contrato PIF-030/2005.



Al final de la etapa de construcción y de la actualización de la documentación al estado "tal como se construyó", toda la información que se elabore mediante equipo de procesamiento de datos PC's, debe entregarse en discos ópticos (CD-ROM) para su archivo y manejo en equipo de cómputo. Se usarán paquetes de software comercial en común acuerdo con la Comisión.

La información debe tener el alcance y detalle que permita una revisión rápida y eficaz, además debe incluir un cuadro de identificación el cual será acordado con la Comisión, donde se indique el título del documento, fecha de edición y el número de control correspondiente.

El Consorcio debe incluir un sistema de identificación de documentos, el cual se describe en el Procedimiento de Coordinación del Consorcio y éste deberá ser acordado con la Comisión de acuerdo al Anexo 18 del Contrato PIF-030/2005.

Con el propósito de establecer las categorías que la Comisión dará a toda la documentación, a continuación se describen éstas:

- A. Para Información.- Catálogos, Manual de la Calidad, dibujos de fabricación de equipos y componentes, estudios y reportes de ingeniería, controles de documentos y Reportes de Avance; lista, registro y control de subcontratistas; organización de personal de ingeniería, construcción y puesta en servicio. Solamente la información de catálogos, dibujos de fabricación de equipos y componentes será aceptable en idioma inglés, excepto en lo que respecta a Reportes de Avance.
- B. Para Revisión.- Libro de Anteproyecto, Plan de la Calidad detallado y específico para el desarrollo del Proyecto, incluyendo: Ingeniería, diseño, adquisiciones, construcción, montaje, pruebas y puesta en servicio, dibujos y planos de diseño finales y planos de fabricación de equipos y componentes, realizados específicamente para los bienes especificados en el Anexo 2: Los procedimientos constructivos y de montaje de equipo, lista de registros y control de equipo, motores, válvulas, instrumentación, dispositivos y accesorios, tubería, cables, etc.; libros y Manual de pruebas y puesta en servicio, de operación y mantenimiento; Manual de la Central; reportes de pruebas en fábrica de equipos y materiales; Programas detallados de ingeniería, adquisición, construcción, de pruebas y puesta en servicio, memorias de cálculo, diagramas de tubería e instrumentación, protocolo de pruebas y procedimientos de puesta en servicio, programas preventivos de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Plan de Prevención de Accidentes, Plan de Atención a Contingencias Ambientales, Programa Calendarizado de los Términos y Condicionantes de la Resolución en Materia de Impacto Ambiental y los Programa de Gestión Ambiental para las fases de diseño, preparación del sitio, construcción y puesta en servicio de la Central.

La información correspondiente al inciso B) deberá ser entregada en idioma español.



LIBRO DE ANTEPROYECTO (LAP)

El Consorcio entregó a la Comisión en idioma Español 8 (ocho) copias del Libro de Anteproyecto, el cuál contiene la Ingeniería Básica del Proyecto (documentos iniciales e ingeniería conceptual), fundamentada en las Especificaciones Técnicas de la Comisión, en su Propuesta Técnica y en todos los acuerdos tomados durante las juntas técnicas previas a la firma del Contrato, adicionalmente entregó una copia completa en archivo electrónico (CD-ROM).

La entrega del LAP se realizó de acuerdo al plazo indicado en el Programa de Entrega de la Información Técnica, del Anexo 5 del Contrato PIF-030/2005.

PROGRAMA DE ENTREGA DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA

El Programa de Entrega de la Información Técnica indica los documentos cuya demora en la entrega queda sujeta a penalización, por lo cual es una lista enunciativa más no limitativa de los documentos que debe entregar el Consorcio.

DOCUMENTO	PLAZO DE ENTREGA EN SEMANAS, A PARTIR DE LA FECHA DE INICIO (31-MAYO-2006)
General	
Programa de Entrega de la Información Técnica	7
Programas detallados y Especifico de:	
a) Ingeniería (Cláusulas 13.1 y 12.4 e inciso 5.3.7 del Anexo 5)	5
b) Fabricación y Suministros (Cláusulas 15.3 y 12.4 e inciso 5.3.7 del Anexo 5)	5
c) Construcción (Cláusula 16.1)	8
d) Pruebas y Puesta en Servicio (Cláusula 17.1 y 17.4)	antes de la fecha de inicio de construcción
	6
	antes de la fecha de inicio de las pruebas y puesta en servicio
Libro de Anteproyecto (Cláusula 13.1 e inciso 5.2 del Anexo 5)	16
Reporte de Avance (Cláusula 12.4)	La primera semana de cada Mes
Cuestionario Técnico (inciso 5.3.9 del Anexo 5)	22
Manual de la Central (Cláusula 18.1 e inciso 5.3.9 del Anexo 5)	A más tardar en la Fecha de Aceptación Provisional



Manual de Gestión de la calidad (Cláusula 13.1)	16
Planes de la Calidad detallados y específicos para el desarrollo del Proyecto incluyendo Ingeniería, Diseño, Adquisiciones, Construcción, Montaje, Pruebas y Puesta en Servicio. (Cláusula 13.1)	16
Programa de Ruta Crítica	10
Plan de Prevención de Accidentes, Planes de Atención a Contingencias Ambientales, Programa Calendarizado de Atención a los Términos y Condicionantes de la Resolución en Materia de Impacto Ambiental, Programa de Gestión Ambiental, incluyendo todas las fases de diseño, preparación del sitio, construcción, pruebas y puesta en servicio. (Cláusula 13.1)	16
Manual de Gestión Ambiental (Cláusula 13.1)	
Programa de Gestión Ambiental de la fase de preparación del Sitio	4 semanas antes del inicio de la fase de preparación del Sitio
Programas preventivos de seguridad e higiene en el trabajo. (Cláusula 4.10 y 13.1)	16
Procedimientos constructivos y de montaje de equipos	4 Semanas antes del inicio de la actividad correspondiente
Protocolos y procedimientos específicos de pruebas y puesta en servicio (incluye Pruebas de Operación y Desempeño). Primer envío / versión final aprobados por la Comisión. (Anexo 13, inciso A).	16/2 antes del inicio de pruebas.
Manual de Pruebas y Puesta en Servicio completo y en revisión final. (Anexo 5, inciso 5.3.11).	2 después de la Fecha de Aceptación Provisional
Manual de Operación y Mantenimiento: Del equipo principal, de los equipos auxiliares (resto de equipos de la Central) (Anexo 5, inciso 5.3.12)	4 antes del inicio de las Pruebas y Puesta en Servicio
Manual de construcción y montaje, incluyendo copia de la bitácora de montaje. (Anexo 5, inciso 5.3.15)	4 antes del inicio de las Pruebas y Puesta en Servicio

Asimismo, en el LAP el Consorcio debe formalizar a su vez los programas específicos de Ingeniería, Construcción, Fabricación y Suministros lo cual consistirá en la emisión de estos documentos conteniendo una programación de detalle congruente con el Programa de Ejecución indicado en su Propuesta Técnica.



El contenido del Libro de Anteproyecto debe apegarse a la siguiente estructura (por áreas técnicas):

a) Descripción General del Proyecto

- Localización y descripción de la Central y del Depósito de Ceniza
- Parámetros del suelo y consideraciones en el diseño
- Valores Garantizados y Curvas de Corrección
- Régimen de operación de la Central (incluye curvas de arranque, Factor de Disponibilidad Equivalente Anual, incluyendo horas de indisponibilidad por mantenimiento, salidas forzadas y procedimiento de arranque y paro)
- Programa de Ejecución
- Programas de Ingeniería, Fabricación y Suministros

b) Ingeniería Mecánica

- Balances Térmicos , incluyendo la fórmula de cálculo del CTUNG a las cargas de: 100%, 75%, 50% y 25% para las Condiciones del Sitio, temperatura de diseño en verano, condiciones de temperatura de diseño de invierno, condiciones ambientales promedio anual, temperatura mínima extrema y máxima extrema.
- Bases y criterios de diseño mecánico desarrollados con Base en la Guía de la Comisión CDM-01.
- Descripción de los siguientes sistemas mecánicos:
 - Generador de vapor
 - Vapor principal, recalentado
 - Condensado
 - Turbina de vapor
 - Sistemas auxiliares de la Central (contra incendio, aire comprimido, aire acondicionado, desechos aceitosos, agua de servicios, etc.).
 - Agua de alimentación
 - Enfriamiento principal y auxiliar
 - Sistema de vapor auxiliar
 - Sistemas auxiliares de la Turbina de Vapor
 - Sistema de manejo e inyección de combustibles (carbón, combustóleo y diesel)
- Curvas de corrección aplicables en las Pruebas de Desempeño



- La descripción de cada sistema debe incluir lo siguiente y desarrollarse conforme a la guía MEJ.2.4.2 de la Comisión, la cual debe incluir lo siguiente:

- Funciones del sistema
- Descripción del sistema y sus componentes
- Bases de diseño del sistema y de sus componentes
- Modos de operación del sistema
- Relación con otros sistemas
- Parámetros del sistema
- Materiales utilizados
- Hojas de datos de componentes

- Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI) de los sistemas arriba indicados, los cuales deben incluir:

- Simbología
- Equipos principales y auxiliares (incluye nombre y SIC)
- Todas las líneas de tuberías
- Todos los instrumentos
- Elementos finales de control
- Válvulas manuales, motorizadas y neumáticas



ACTIVIDAD DESARROLLADA EN EL LAP

Revisé el LAP tanto la Revisión 0 como la Revisión 1, de acuerdo a lo establecido en las Especificaciones Técnicas, a lo indicado en la Propuesta Técnica, a lo señalado en el Anexo 5 del Contrato, verificando que cumpliera con éstas y que se desarrollaran conforme a la guía MEJ.2.4.2.

El contenido del LAP para el Área Mecánica se describe a continuación:

Para la revisión del LAP envíe una copia, de las ocho que el Consorcio entregó a la Comisión, al Departamento de Ingeniería Mecánica para su revisión, mientras que yo me quedé con otra copia para revisarla y al final junte tanto los comentarios hechos por el Departamento como los míos en otra copia que se nombró "Copia Maestra", que es la copia que se queda para el archivo y de la cual hice una copia idéntica que se envió al Consorcio.

Dentro de los comentarios más relevantes encontrados en el LAP en ambas revisiones son los siguientes:

Se les solicita enviar más información de los equipos ya que la en la descripción de los mismos no se tiene suficiente información.

TURBINA DE VAPOR

En el Sistema de Aceite de Lubricación se les solicita identificar de una mejor manera los equipos en el DTI correspondiente.

Para los enfriadores de aceite se les ha solicitado que deben incluir las características de los mismos como son los materiales, la presión, temperatura, de acuerdo a lo indicado en la sección 8.10.1.4 de las Especificaciones Técnicas del Contrato así como incluir una conexión exterior y un cabezal inferior en el tanque de aceite principal para la introducción de CO₂ en caso de incendio.

En la tubería de entrada de vapor recalentado de Alta Presión se le solicita indicar el diámetro, los materiales de éstas, así como indicar de una mejor manera la tubería en el DTI correspondiente.

En forma general se les ha solicitado indicar el tipo de material de acuerdo a la norma ASTM, y no cómo lo están indicando, ya que todos los materiales los indican de acuerdo a la norma JIS, por lo que el Consorcio deberá enviar la equivalencia de éstos materiales con respecto a la norma ASTM.

En la descripción de las válvulas principales se le solicita al Consorcio la descripción de las válvulas de derivación del By-Pass de la turbina, así como para todas las válvulas enviar las características de las mismas, tipo de materiales, condiciones de operación, etc., para ello se deben apegar a lo indicado en la sección 8.10.1.4 de las Especificaciones Técnicas del Contrato.



Para el acumulador de alta presión del sistema hidroneumático de la turbina se le solicita al Consorcio aclarar en caso de falla ó mantenimiento del mismo cómo se respalda dicho sistema por lo que debe ser diseñado con redundancia o deberá suministrar otro acumulador como respaldo.

En la descripción de dispositivos de protección de la turbina se le solicita que incluya todos los dispositivos indicados en la sección 8.10.1.6 las Especificaciones Técnicas del Contrato y no sólo algunos de ellos.

En el sistema de control de la turbina se les solicita agregar el sistema de autodiagnóstico de acuerdo a lo establecido en la sección 8.10.1.6 de las Especificaciones Técnicas del Contrato. También se le indica que el sistema de control de la turbina deberá operar en forma automática, semiautomática y en forma manual ya que en éste momento no lo están describiendo de esa forma por lo cual se le indica que el diseño de dicho sistema se deberá hacer de acuerdo a lo indicado en la sección 8.10.1.6 de las Especificaciones Técnicas del Contrato.

Se le solicita al Consorcio enviar la descripción detallada de los tableros de control a utilizar.

De igual forma se le solicita al Consorcio enviar la descripción detallada del procedimiento del paro de la turbina.

GENERADOR DE VAPOR

En la descripción del sistema y sus componentes se le indica al Consorcio que la caldera deberá ser diseñada para quemar eficientemente carbón de diseño A y carbón de diseño B, así como una mezcla de ellos, como combustible base; así como diesel para arranque puesto que en su descripción no lo mencionan.

Para el procedimiento de limpieza química de la caldera y la prueba de hermeticidad se le pide al Consorcio aclarar si el alcance de los procedimientos citados por Mitsubishi en la descripción del sistema cumplen con los indicados en la sección 8.10.2.6 de las Especificaciones Técnicas del Contrato, en caso contrario deberá enviar los procedimientos para su análisis, evaluación y posteriormente la aprobación o no por parte de la Comisión.

En el sistema de combustión de carbón se le indica que el carbón deberá ser pulverizado a un tamaño por lo menos a que pase el 70% del carbón a través de la malla número 200 y el 98.5% pase por la malla número 50 de acuerdo a lo establecido en la sección 8.10.2.4 de las Especificaciones Técnicas del Contrato, así como deberá indicar el tamaño en micras (μ).

Asimismo se le requiere al Consorcio que el diseño de montaje y contención deberá considerar la capacidad para sostener la presión máxima debido a la explosión e implosión y se deberá aplicar las normas NFPA 60, 85E, 85G de acuerdo a la sección 8.10.2.4 de las Especificaciones Técnicas del Contrato.



Se le pide al Consorcio indicar el material de las boquillas del quemador puesto que en la descripción correspondiente sólo indican que serán aceros resistentes al calor.

Para el sistema de combustión de la caldera se le indica al Consorcio que el tanque de almacenamiento de diesel deberá tener una capacidad mínima de 500 m³ más el volumen de diesel para auxiliares, teniendo como capacidad final del tanque el arranque de la unidad hasta el 20% de carga como máximo con un pulverizador en servicio y en ésta carga se debe iniciar la transferencia a carbón para llevar la unidad al 100% de generación.

También se le solicita al Consorcio incluir esquemas de los quemadores indicando el tipo de quemador para los distintos combustibles así como su localización en el arreglo general de la caldera e indicar el tipo de flama.

Para los alimentadores de carbón se le pide indicar el número de pulverizadores en operación normal, los materiales de construcción, el recubrimiento en la zona de desgaste, la relación de carga, etc., en general incluir una descripción más detallada de los equipos así como esquemas de los mismos. Todo lo anterior debe cumplir con la sección 8.10.2.4 de las Especificaciones Técnicas del Contrato.

Se le solicita al Consorcio enviar la descripción del suministro de combustible al hogar de la caldera durante el arranque, así como indicar y describir los sistemas donde se utiliza el vapor auxiliar.

Para el consumo de carbón, se le solicita al Consorcio aclarar el valor de dicho consumo puesto que el indicado en el LAP Rev. 0 y 1, en el Cuestionario Técnico Rev. 0 y 1 no coincide con el del OT-20 de la Propuesta Técnica, así como aclarar la discrepancia en el criterio de diseño ya que para el BMCR (110 % de carga) utilizan el poder calorífico superior y para el ECR (100% de carga) utilizan el poder calorífico inferior, por lo cual se le solicita enviar la memoria de cálculo con la cual se determina el consumo de combustible tanta para carbón A como para carbón B, así como enviar las curvas de comportamiento de la caldera para ambos tipos de carbón.

En la descripción del Separador de Agua se le solicita al Consorcio incluir una descripción más detallada del equipo en la cual se describa el funcionamiento a condiciones normales de operación (menos del 30% de carga total de la planta), así como indicar materiales y componentes del equipo y los arreglos de la caldera donde se muestre su localización, También se le solicita indicar los parámetros de operación (presión y temperatura, etc).

Para el sistema de tubería de expansión de la caldera se le pide incluir una descripción completa del sistema y los equipos asociados, como es la bomba, con la cual se hará la descarga a la fosa de neutralización, asimismo se le informa al Consorcio que el DTI CED-MHI-LCQ-WE1-0001, no muestra completamente el alcance de dicho sistema por lo cual se deberá complementar con el DTI CED-MHI-GMA-WE1-0001, Sistema de Drenaje Industrial.



Se le requiere al Consorcio incluir el arreglo general de la caldera donde se muestre la localización de los sopladores de hollín de pared, soplador de hollín retráctil largo y el soplador de hollín para el precalentador de aire regenerativo.

De igual forma que para los sopladores de hollín se le solicita al Consorcio incluir el arreglo general de la caldera donde se muestre la localización de las válvulas de seguridad, así como un diagrama esquemático de cada válvula indicando el tamaño, tipo y material de las mismas, anexando la hoja de datos correspondientes en donde se indique la presión de ajuste, la presión de cierre, flujo de alivio, temperatura de alivio, etc.

En la descripción de los calentadores de aire regenerativo se le solicita incluir las características de operación de los mismos así como indicar el tipo de material de acuerdo a la norma ASTM y lo indicado en la sección 8.10.2.4 para los distintos componentes del calentador de aire.

Para los ventiladores de tiro forzado (VTF), ventiladores de tiro inducido (VTI), ventiladores de aire primario (VAP), se le solicita que los materiales de los componentes de los mismos sean de acuerdo a lo establecido en la sección 8.10.2.4, en caso de no ser así, enviar una justificación técnica del cambio de material, en la cual se diga el porque no pueden ser de ese material así como una comparación entre el material propuesto y el especificado en la que se demuestre que el primero es igual o mejor que el segundo.

Para la potencia del motor de los ventiladores de tiro forzado (VTF), ventiladores de tiro inducido (VTI) se da un margen del 5% más del requerido por la flecha de los ventiladores, mientras que para los ventiladores de aire primario (VAP) se da un margen del 10% de más, por lo cual se le solicita al Consorcio aclarar la diferencia entre criterios.

SISTEMA DE CONDENSADO

En la descripción del Sistema y sus componentes, se le solicita al Consorcio que el flujo de diseño será el condensado requerido a 100 % de carga con servicios, más flujos de sellos de válvulas, dosificación química, sellos de bombas de agua de alimentación, etc. Las bombas de condensado manejarán un flujo de diseño igual a lo indicado anteriormente, más el 7 % por demanda súbita y un 3 % por desgaste.

Para los materiales de construcción del condensador, Mitsubishi propone para el material de la junta de expansión en el cuello del condensador Goma por lo cual queda pendiente hasta que la Comisión determine el uso o no de éste material.

En las condiciones de diseño del condensador, para el Factor de limpieza Mitsubishi propone de cómo mínimo un factor de limpieza del 90% por lo cual queda pendiente hasta que la Comisión compruebe que la aplicación del factor de limpieza cumple



con la especificación de CFE, quedando en espera el envío del soporte del cálculo que compruebe lo anterior, de acuerdo a la RNC-AEI-621-DIM-05

Para el concepto de caída de presión máxima permitida del lado de los tubos, medida desde la conexión de entrada al enfriador hasta la salida del calentador, en los calentadores de BP No. 1 y 2, el Consorcio indica un valor que no corresponde al establecido en la Especificación Técnica, Sección 8.4.6.6, tabla 4; en donde se indica 103 para unidades de 648 MW, por lo cual se le solicita justificar la discrepancia, enviando la documentación técnica que soporte éstos valores e indicar los valores establecidos por el HEI.

Para el concepto de caída de presión máxima permitida para el calentador, en los calentadores de BP No. 3 y 4, del lado de tubos, medida entre las conexiones de entrada y salida de agua, correspondiente al flujo de diseño, el Consorcio indica un valor que no corresponde al establecido en la Especificación Técnica, Sección 8.4.6.6, tabla 5; en donde se indica 70 para unidades de 648 MW, por lo cual se le solicita justificar la discrepancia, enviando la documentación técnica que soporte éstos valores e indicar los valores establecidos por el HEI.

Para concepto de Caída de presión máxima permitida del lado del vapor para cada calentador, se le solicita al Consorcio que aclare si el valor cumple con la recomendación del HEI.

Para la especificación de la bomba de condensado, se le solicita al Consorcio que envíen la memoria de cálculo en donde se detalle claramente la obtención del flujo y la presión.

Para la tabla de materiales de las bombas de condensado, se le solicita al Consorcio que justifique técnicamente el cambio de materiales y que demuestre que los materiales propuestos son mejores que los especificados en la sección 8.4.5.1

Se le solicita que mande el respaldo de que los materiales propuestos son mejores que los especificados en la sección 8.4.6.5.1 para los componentes: Anillos de desgaste hasta Boquilla de descarga de la bomba.

En las especificaciones principales de la bomba de vacío, para la capacidad; se le solicita al Consorcio que indique las unidades en SI.

Se suministran dos bombas para satisfacer la capacidad requerida y de acuerdo con la descripción del sistema donde se dice que el vacío del condensador se mantiene por la operación de una bomba y la otra permanecerá de respaldo, se le solicita al Consorcio que aclare la discrepancia ya que la capacidad de la bomba no cubre con la capacidad requerida de acuerdo a la norma HEI.



SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN, Y SISTEMA DE DRENAJE DE CALENTADOR Y VAPOR DE EXTRACCIÓN

En la descripción del sistema le indique al Consorcio que cada juego de calentadores será independiente uno de otro, teniendo una desviación (by-pass) por calentador de alta presión (AP), mediante válvulas motorizadas de corte y desviación, a acuerdo a los requerimientos de la turbina tal y como se indica en la sección 8.4.6.8 de las Especificaciones Técnicas del Contrato.

En la descripción de los componentes se le informa al Consorcio que los calentadores de AP son de construcción tipo horizontal, con caja de agua en la parte inferior y haz de tubos en forma de "U".

Para las bombas de agua de alimentación se le solicita al Consorcio indicar el flujo mínimo de recirculación de las bombas principales de agua de alimentación tanto para la bomba accionada por motor (BAA-M), la cual tiene una capacidad del 30% de carga, como para las accionadas por turbina de vapor (BAA-T), las cuales tienen una capacidad del 60% de carga, así como para sus bombas de refuerzo respectivamente.

Asimismo en la descripción de componentes para las condiciones de diseño para el desgasificador se le indica al Consorcio que deberá aplicar las mismas condiciones de diseño para los calentadores de baja presión de acuerdo a lo establecido en el HEI.

Se le solicita al Consorcio incluir la descripción de la turbina de vapor para las BAA-T puesto que no se indica en la descripción de componentes tanto para AP y BP, que es de donde se toma el vapor para el funcionamiento de la misma. De igual manera se le solicita incluir la descripción para las bombas de refuerzo (booster), tanto para la BAA-M como para las BAA-T.

En las condiciones de diseño de las bombas de agua de alimentación se le indica al Consorcio que los valores no coinciden con los citados en el OT-20 de su Propuesta Técnica, por lo que se le solicita aclarar los valores que serán utilizadas para la condición de diseño y la razón de ellos.

Para las bombas de agua de alimentación se le solicita al Consorcio indicar la presión de descarga bajo la condición de flujo cero (válvula en la descarga cerrada) puesto que sólo indican que será más grande que la presión de descarga en el flujo de diseño.

En la especificación de las bombas de agua de alimentación se le solicita enviar en forma general la memoria de cálculo detallada tanto para las bombas principales como para las reforzadoras ya que de acuerdo a lo indicado hay variaciones en los criterios utilizados así como cambios con respecto a lo señalado en la revisión anterior del LAP (Rev. 0), además que no indican las especificaciones de las bombas reforzadoras.



Se le solicita al Consorcio justificar técnicamente el cambio de materiales para las bombas de agua de alimentación puesto que no son los señalados en las Especificaciones Técnicas del Contrato, por lo cual tiene que comprobar que son mejores a los señalados en la sección 8.4.6.9 de las Especificaciones Técnicas.

Para los rotores se le solicita al Consorcio indicar el tipo de balanceo dinámico que se usará. Se le indica también al Consorcio que las chumaceras de empuje serán de segmentos autoalineables, adecuadas para compensar el empuje axial resultante bajo cualquier condición de operación.

Se le solicita incluir al Consorcio los termopares ISA tipo E de chromel constantan faltantes puesto que los indicados en la descripción de los componentes no son todos los señalados en las Especificaciones Técnicas del Contrato para la supervisión y protección adecuadas de las temperaturas de las bombas.

Asimismo se le indica al Consorcio que las superficies de carcasa interior que están sujetos a desgaste deben ser provistos con anillos de desgaste, de tipo reemplazable.

Para el concepto de caída de presión máxima permitida del lado de los tubos, medida desde la conexión de entrada hasta la salida del calentador, en los calentadores de AP No. 6,7 y 8, el Consorcio indica un valor que no corresponde al establecido en la Especificación Técnica, Sección 8.4.6.9, tabla 14; en donde se indica 103 para unidades de 648 MW, por lo cual se le solicita justificar la discrepancia, enviando la documentación técnica que soporte éstos valores e indicar los valores establecidos por el HEI.

Para el concepto de caída de presión máxima permitida para los calentadores de AP No. 6,7 y 8, del lado vapor, el Consorcio indica un valor que no corresponde al establecido en la Especificación Técnica, Sección 8.4.6.9, tabla 14; en donde se indica 70 para unidades de 648 MW, por lo cual se le solicita justificar la discrepancia, enviando la documentación técnica que soporte éstos valores e indicar los valores establecidos por el HEI.

En las condiciones de diseño de los calentadores de AP, se le indica al Consorcio que debe informar a la Comisión por escrito el número de tubos en exceso de los requeridos y, en su caso el número de tubos taponados y su localización de acuerdo a lo señalado en la sección 8.4.6.9 de las Especificaciones Técnicas del Contrato.

Para los materiales de construcción para los calentadores de AP, se le solicita al Consorcio que indique todos los componentes de los calentadores de acuerdo a lo establecido en la tabla 18 de la sección 8.4.6.9 de las Especificaciones Técnicas del Contrato ya que sólo cita algunos de ellos y deberá justificar técnicamente el cambio de materiales, comprobando que los propuestos son mejores que los indicados en dicha tabla.



De igual forma se le solicita al Consorcio justificar técnicamente el cambio de materiales para construcción del desgasificador, comprobando que los propuestos son mejores que los indicados en la tabla 11 de la sección 8.4.6.7 de las Especificaciones Técnicas.

En los parámetros principales para el sistema de vapor principal, vapor recalentado y derivación de la turbina se le solicita al Consorcio incluir la descripción del control y la instrumentación, las interfases con otros sistemas, lo referente a las pruebas preoperacionales, el arranque y paro normal, etc.

Se le informa al Consorcio que los dibujos de referencia CED-MHI-LAB-WE1-0001 y CED-MHI-LCA-WE1-0001 no muestra las derivaciones de la turbina de AP y BP respectivamente por lo cual debe aclarar en cuales se muestran.

SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACIÓN

De acuerdo al sistema de agua de circulación, se le solicita al consorcio que incluya la descripción detallada del retrolavado así como la forma en la que se realizará (modo de operación).

A continuación se menciona en que consiste el Retrolavado y choque térmico.

Retrolavado y choque térmico

Para hacer frente a los problemas de corrosión (corrosión-erosión y corrosión por grietas) en el condensador principal se llevan a cabo procedimientos o métodos preventivos como el Retrolavado y choque térmicos al mismo tiempo para lo cual, el sistema de agua de circulación debe contar con un arreglo de tuberías y válvulas que al ser operadas en forma específica se logre alcanzar el objetivo deseado.

El retrolavado es el método que consiste en invertir la dirección del flujo de agua de circulación a través de una de las cajas de agua del condensador con el objeto de barrer suciedades y organismos marinos acostumbrados al flujo de agua en una sola dirección. La frecuencia y duración de esta operación depende del tipo y cantidad de especies marinas presentes en el sistema y es característica particular para cada unidad.

El choque térmico es el método empleado para impedir la proliferación de especies marinas en el condensador. Este método es efectivo contra organismos de mayor tamaño que tienen una tolerancia mayor al biocida dosificado al agua manejada en el sistema (hipoclorito de sodio) y que consiste en recircular por una de las divisiones del condensador y a contra flujo, el agua que previamente ha circulado a través de la otra de las divisiones del condensador (condensador bipartido) de tal manera que se alcanzan temperaturas de alrededor de 48°C propiciando con esto la muerte de la mayor parte de estos organismos.



La efectividad de este método esta en función de la temperatura aplicada a los organismos cuidando de no rebasar la temperatura máxima del agua de circulación a la entrada del condensador, el tiempo de aplicación que debe ser lo suficientemente largo para asegurar su muerte, y la frecuencia con que se lleva a efecto el método para asegurar que los organismos marinos se eliminen en su etapa joven, asegurándose con esto que el tamaño de los organismos muertos sea suficientemente pequeño para que pasen a través del condensador sin que obstruyan los tubos.

El choque térmico se efectúa con una de las dos bombas fuera de operación, pasando a contraflujo el agua manejada por la bomba que se encuentra operando, a través de la caja de agua del condensador sometida a choque térmico.

El alcance del Retrolavado con choque térmico incluye al condensador principal y la tubería y ductos localizados entre la bomba que se encuentra fuera de operación y el condensador.

Para las compuertas de las celdas de las bombas de agua de circulación, se le solicita al consorcio que envíe la información del número de válvulas de ecualización por panel así como el diámetro de dicha válvula

Para las rejas bastas manuales, se indica que serán fabricadas con tres elementos, se le solicita al Consorcio que especifique éstos materiales.

Para los datos de diseño, se menciona que el agua para la lubricación y enfriamiento de las chumaceras será descargada en la succión de la bomba y únicamente durante el arranque y disparo de la bomba será usada una fuente externa para el agua de lubricación, por lo que se le solicita al Consorcio que indique cuál o que tipo de fuente se trata.

En los materiales de construcción de la bomba de agua de circulación, éstos materiales deben ser los requeridos en las Especificaciones Técnicas, sección 8.4.9.1, tabla 23, se le solicita al Consorcio que justifique técnicamente el cambio, comprobando que los materiales propuestos son mejores que los indicados en las Especificaciones Técnicas..

En los parámetros de diseño, para las bombas de agua de circulación, el concepto de Carga dinámica total queda pendiente hasta que CFE analice el estudio de transitorio hidráulico y se determine que éstas bombas son las adecuadas para el sistema.

CUESTIONARIO TÉCNICO

Revisé el Cuestionario Técnico tanto la Revisión 0 como la Revisión 1, de acuerdo a lo establecido en las Especificaciones Técnicas, a lo indicado en la Propuesta Técnica, a lo señalado en el LAP tanto revisión 0 como revisión 1, verificando que los datos señalados en él sean consistentes con los indicados en todos los documentos citados anteriormente.



El Consorcio entregó la información solicitada en el Cuestionario Técnico entregado por la Comisión, la cual debe haber sido completada por el Consorcio y entregado a la Comisión en su primera versión con los datos reales del equipo en procuración, en un plazo de 22 semanas después de la fecha de la Firma del Contrato PIF-030/2005, y posteriormente entrega cada trimestre el Cuestionario Técnico con información complementaria obtenida conforme el avance del Proyecto.

El espacio reservado para que el Consorcio incluya la información es en la columna "Propuesta", aunque de requerir más espacio para el llenado se puede ampliar la ventana hasta que sea legible, o en su caso anexar las referencias o documentos necesarios que respalden la información solicitada, clasificándolos de acuerdo al número de concepto correspondiente a las instrucciones del Cuestionario Técnico.

Las respuestas a los cuestionarios, documentos o referencias deberán estar en el idioma español y cumplir con el Sistema Internacional de Unidades.

Entre los comentarios más relevantes indicados encontrados en el Cuestionario Técnico son los siguientes:

Se le solicita al Consorcio indicar si el flujo señalado en el Cuestionario Técnico para diesel y quemadores de arranque es para doce quemadores, así como informarle que la capacidad del tanque de almacenamiento de diesel es de 500 m³ más el volumen de diesel para auxiliares, garantizando que la capacidad final del tanque de diesel deberá cubrir el 20% de carga de la Central.

Se le solicita al Consorcio aclarar la discrepancia en la presión para quemadores de diesel puesto que no coinciden con los citados en el documento CED-TEC-HHF-P04-0027.

Para el flujo de combustible (carbón tipo A y tipo B) se le solicita al Consorcio aclarar la discrepancia ya que los valores no coinciden con los establecidos en su Propuesta Técnica, así como el criterio de diseño utilizado, se le solicita enviar las curvas de comportamiento de la caldera tanto para carbón A y B, así como enviar la memoria de cálculo para el consumo de combustible.

Para la bomba de circulación de la caldera se le pide aclarar la discrepancia entre valores puesto que no coinciden con los indicados en el LAP, sección 3.3.1.3.3.2.19, ni con los del documento CED-MHI-HAG-RD1-0001 Revisión 1.

Se le solicita al Consorcio enviar la justificación técnica del cambio de materiales para los ventiladores de tiro forzado, de tiro inducido y aire primario, así como para las bombas de agua de alimentación, de condensado y de circulación, comprobando que los propuestos son mejores que los indicados en las Especificaciones Técnicas.

Se le solicita de igual forma al Consorcio enviar la justificación técnica del cambio de material para el tanque de purgas continuas puesto que no coincide con el indicado en el LAP Revisión 1.



ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
CON Y SIN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS
DE OPERACIÓN



Se le pide al Consorcio aclarar la discrepancia entre valores de las eficiencias del turbogenerador a condiciones de diseño de verano puesto que no coinciden con los indicados en el OT-20 de su Propuesta Técnica.

Para las bombas de circulación se le informa al Consorcio que verifique el valor de la capacidad puesto que no coincide con lo indicado en el OT-20 de su Propuesta Técnica ni en el LAP Revisión 1.

Se le solicita al Consorcio incluir los conceptos para indicar la información referente al enfriador de drenes.



CONCLUSIONES

Resultados obtenidos en beneficio de la sociedad.

Contribuyo en los trabajos de construcción del "Proyecto 62 CCE PACIFICO", el cual deberá estar funcionando el 01 de febrero de 2010 proporcionando 651.16 MW de Energía Eléctrica, con lo cual se podrá proveer de éste servicio en la zona occidental del país y así cumplir con el 6.2 % de incremento del suministro de dicha zona.

Resultados obtenidos en la formación profesional.

Aprendo las acciones que se llevan a cabo en los procesos de evaluación, en los asuntos que se deben tratar previos a la construcción de un proyecto y a la construcción del mismo y más de un Proyecto como Pacífico que será el Primer Proyecto Termoeléctrico con una caldera con Operación Supercrítica y un Turbogenerador de Vapor de 651.16 MW en una sola unidad, lo cuál lo hace único en América Latina, por lo que tengo un desenvolvimiento en áreas de trabajo profesional acorde a mí profesión de Ingeniería Mecánica, además de adquirir conocimientos adicionales de herramientas de Office.

Conclusiones, recomendaciones, comentarios, quejas, etc.

Puedo decir con éste informe que contribuyo en el desarrollo de Programas de Construcción y Operación de las Centrales Generadoras de Energía de Comisión Federal de Electricidad (CFE), además que realizo oficios técnicos, recopiló información referente de afectaciones en Planta, reviso y analizo Especificaciones Mecánicas, conozco el funcionamiento y operación de una Central Carboeléctrica y los sistemas auxiliares a ella.

En general me agrada trabajar en CFE puesto que adquiero experiencia laboral sobre lo que finalmente estudié, además que se toma en cuenta mí opinión en los asuntos del Proyecto Pacífico y eso es importante para mí.



BIBLIOGRAFÍA

- Ekawan Rudianto, Duchene Damien Goetz, “The Evolution of hard coal trade in the Pacific Market. Energy Policy”, 2006.
- Ekawan Rudianto, Duchene Michel, “The Evolution of hard Coal trade in the Atlantic Market. Energy Policy”, 2006.
- Douglas M. Considine, “Tecnología del Carbón”, Publicaciones Marcombo, 1986.
- Carbounion, “Balance de Energía 2006 y perspectivas de 2007 del Carbón”.
- Paul De Garmo, “Ingeniería Económica”, Pentrice Hall, 10ª Edición.
- Comisión Federal de Electricidad, “Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico (COPAR de Generación)”, Comisión Federal de Electricidad, 2006, 26ª edición.
- Bernhard Spang, “Water97 v13.xla, Excel Add-In for Properties of Water and Steam in SI-Units”,
- Comisión Federal de Electricidad, “Prontuario de Información Técnica, C.T. Pdte. Plutarco Elías Calles (Petacalco)”, CFE.
- Comisión Federal de Electricidad, “Prontuario de Información Técnica, CCE Pacífico”, CFE.